

Untersuchung
datenreduzierender Multiplexverfahren
zur digitalen Übertragung von Bildern
mit zwei Helligkeitsstufen

von
Hartmut Heß

Erlangen, 1977



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548225_0005

Untersuchung
datenreduzierender Multiplexverfahren
zur digitalen Übertragung von Bildern
mit zwei Helligkeitsstufen

Dem Fachbereich Ingenieurwissenschaften der
Universität Erlangen - Nürnberg

zur Erlangung des Grades
Doktor - Ingenieur

vorgelegt von
Hartmut Heß

Erlangen, 1977

Als Dissertation genehmigt vom
Fachbereich Ingenieurwissenschaften
der Universität Erlangen-Nürnberg

Tag der Einreichung: 11. Februar 1977

Tag der Promotion: 6. Mai 1977

Dekan: Prof.Dr.rer.nat. H.-J.Schneider

Berichterstatter: Prof.Dr.-Ing. D.Seitzer

Prof.Dr.rer.nat. W.Händler

Untersuchung datenreduzierender Multiplexverfahren zur digitalen Übertragung von Bildern mit zwei Helligkeitsstufen

1.	Einführung	1
2.	Begriffsbestimmungen	2
2.1	Quellencodierung, Kanalcodierung	7
2.2	Redundanzreduktion, Irrelevanzreduktion	8
2.3	Zweittonbilder, Grautonalbilder	11
2.4	Textübertragung, Semantische Bildübertragung, Punktweise Bildübertragung	11
2.5	Intraframe-Codierung, Interframe-Codierung	13
2.6	Festbilder, Festbildfolgen, Bewegtbilder	14
3.	Quellencodierungsverfahren für Zweittonbilder (Stand der Technik)	17
3.1	Langsame Abtastung mit Interpolation	17
3.2	Reduzierung des Mustervorrats	19
3.3	Konturcodierung	20
3.4	Runlängen-Codierung (Laufweiten-Codierung)	22
3.5	Direktes MPZ-Verfahren	25
4.	Multiplexübertragung mit momentaner Prioritätszuteilung	26
4.1	Gemeinsame Grundlagen	26
4.2	Art der Darstellung	30
4.3	Direktes MPZ-Verfahren	35
4.3.1	Prinzipielle Wirkungsweise des direkten MPZ-Verfahrens	35
4.3.2	Quantitative Überlegungen zum direkten MPZ-Verfahren	41
4.4	Differenz-MPZ-Verfahren	47
4.4.1	Prinzipielle Wirkungsweise des Differenz-MPZ-Verfahrens	47
4.4.2	Quantitative Überlegungen zum Differenz-MPZ-Verfahren	50

4.5	Interframe-MPZ-Verfahren	61
4.5.1	Prinzipielle Wirkungsweise des Interframe-MPZ-Verfahrens	61
4.5.2	Ziel der Untersuchung	62
4.5.3	Quantitative Überlegungen zum Interframe-MPZ-Verfahren	65
5.	Experimenteller Aufbau	78
5.1	Nützlichkeit experimenteller Aufbauten	78
5.2	Modelle für MPZ-Systeme	79
5.3	Schaltungsrealisierung des direkten MPZ-Verfahrens	83
5.3.1	Taktzentrale	86
5.3.2	Prioritätszuteilung und Prioritätssteuerung (Konzentrator)	86
5.4	Schaltungsrealisierung des Differenz-MPZ-Verfahrens	96
5.5	Schaltungsrealisierung des Interframe-MPZ-Verfahrens	98
5.5.1	Bedarfsermittlung	99
5.5.2	Quellencodierer	101
5.5.3	Quellendecodierer	107
6.	Ergebnisse	110
6.1	Direktes MPZ-Verfahren	110
6.2	Differenz-MPZ-Verfahren	114
6.3	Interframe-MPZ-Verfahren	119
6.3.1	Durchführung der Messungen	119
6.3.2	Darstellung der subjektiven Qualität	119
6.3.3	Ergebnisse der Messungen	122
7.	Diskussion der Ergebnisse und Ausblick	126
7.1	Intraframe-MPZ-Verfahren	126
7.2	Interframe-MPZ-Verfahren	127
7.2.1	Allgemeine Eigenschaften	127
7.2.2	Mögliche Verbesserungen	128
7.2.3	Ausblick	130
8.	Zusammenfassung	131
9.	Literaturverzeichnis	133

Häufig verwendete Abkürzungen

- A "Aktivität einer Quelle (Anteil "aktiver Zeitabschnitte)
- AB Fiktiver Abtastzyklus (Dauer: 1 Bildpunktperiode bzw. 1 Vollbild)
- F Fehlerwahrscheinlichkeit im rekonstruierten Bild
- FA F am Ende eines Abtastzyklus
- FT F am Ende eines Übertragungszyklus
- G Gewicht eines Datenwortes (Anzahl der enthaltenen "logisch 1")
- H Entropie eines Bildpunktes
- K Durch Quellencodierung erzielter Datenkompressionsfaktor
- L Anzahl der Multiplexeinrichtungen, die zu einer größeren Einheit zusammengefaßt sind (Normalfall: $L=1$)
- ld Logarithmus dualis ($=\log_2$)
- M "Bewegungswert" einer Quelle
- MA Mittlerer Bewegungswert einer aktiven Quelle
- MPZ Multiplexübertragung mit momentaner Prioritätszuteilung
- N Anzahl der Teilnehmerpaare (Quelle, Senke), die eine gemeinsame Multiplexeinrichtung benutzen
- NA Anzahl der aktiven Quellen (Quellen mit bewegter Vorlage)
- PS Wahrscheinlichkeit, daß auf einen schwarzen Punkt ein weiterer schwarzer Punkt folgt
- PW Wahrscheinlichkeit, daß auf einen weißen Punkt ein weiterer weißer Punkt folgt

R Wahrscheinlichkeit, daß angemeldeter Bedarf
im aktuellen Übertragungszyklus übertragen wird

RLS Mittlere schwarze Runlänge

RLW Mittlere weiße Runlänge

RS Wahrscheinlichkeit, daß angemeldete Hell-Dunkel-
Kanten im aktuellen Zyklus übertragen werden

RW Wahrscheinlichkeit, daß angemeldete Dunkel-Hell-
Kanten im aktuellen Zyklus übertragen werden

S "Schwarzwert" einer Vorlage (Anteil der schwarzen Punkte)

SD "Schwarzwert" der differenzierten Vorlage (Anteil der
Kantenpunkte)

T Zeit

TG Rekonstruktionsdauer

TR Fiktiver Übertragungszyklus (Dauer: 1 Bildpunktperiode
bzw. 1 Vollbild)

SS Schwarzer Punkt in der Vorlage, schwarzer Punkt in der
Rekonstruktion

SSA SS am Ende eines Abtastzyklus

SST SS am Ende eines Übertragungszyklus

SW Schwarzer Punkt in der Vorlage, weißer Punkt in der
Rekonstruktion

SWA SW am Ende eines Abtastzyklus

SWT SW am Ende eines Übertragungszyklus

WS Weißer Punkt in der Vorlage, schwarzer Punkt in der
Rekonstruktion

WSA WS am Ende eines Abtastzyklus

WST WS am Ende eines Übertragungszyklus

WW Weißer Punkt in der Vorlage, weißer Punkt in der
Rekonstruktion

WWA WW am Ende eines Abtastzyklus

WWT WW am Ende eines Übertragungszyklus

Anmerkung: Bei indizierten Größen wird der Index ohne Tiefstellung direkt oder mit eckigen Klammern angehängt (z. B.: NA , WST_1 , $R [I+1]$), die Faktoren eines Produktes werden stets durch einen Punkt getrennt (z. B.: $N \cdot A$, $L \cdot N$, $PS \cdot (1-R) \cdot SWA$), während eine funktionale Abhängigkeit durch direkt angefügte runde Klammern dargestellt wird (z. B. $P(G)$, $F(L)$).

1. Einführung

Nachdem das System zur Bildübertragung in einer Richtung, der Fernseh Rundfunk, nach einer Entwicklungszeit von einigen Jahrzehnten technisch ausgereift ist und weite Verbreitung gefunden hat, wird seit einigen Jahren die Einführung neuer Formen der visuellen Kommunikation wie zum Beispiel Bildfernsprechen, Fernkopieren, Bürofernschreiben und elektronische Briefübermittlung diskutiert. [1]. Diese neuen Formen haben als gemeinsames Merkmal, daß Bilder in zwei Richtungen übertragen werden können, daß also jeder Teilnehmer abwechselnd Sender und Empfänger sein kann.

Bei diesen neuen Anwendungen kann man die Bilder ohne wesentliche Einschränkung praktisch beliebig langsam übertragen. Eine Ausnahme bildet das Bildfernsprechen, bei dem eine Echtzeitübertragung und damit eine hohe Übertragungsrate erforderlich sind. Der menschliche Gesichtssinn kann etwa 100 mal soviel Information aufnehmen wie das Gehör. Unsere weitverbreiteten eindimensionalen Übertragungseinrichtungen sind außerdem besser an eindimensionale Sprachsignale angepaßt als an zweidimensionale Bilder. Daher kommt es, daß man zur Bildübertragung bei vergleichbarer Qualität etwa 250 mal soviel Übertragungskapazität braucht wie zur Tonübertragung und daß die Bildübertragung entsprechend mehr kostet. Bei diesen Kosten wäre die Einführung eines Systems zur vermittelten Breitbandkommunikation, wie man den Oberbegriff für alle Bildfernsprecher-Varianten nennt, indiskutabel. Diese hohen Übertragungskosten haben zwei Konsequenzen. Erstens benötigt man unbedingt eine datenreduzierende Quellencodierung, die den Datenfluß vor der eigentlichen Übertragung auf ein vertretbares Maß herabsetzt. Trotz dieser Quellencodierung wird aber immer noch ein Vielfaches der Bandbreite erforderlich sein, die man zur Tonübertragung braucht. Deshalb wird man zweitens den Bildfernsprecher auf län-

gere Sicht nur in wirtschaftlich sinnvollen Anwendungsfällen einsetzen. Damit scheidet eine Übertragung von Porträts der Gesprächspartner praktisch aus. Vorteilhaft kann der Bildfernsprecher immer dann eingesetzt werden, wenn eine visuelle Übermittlung der Information notwendig ist und die konventionelle Übermittlung in materieller Form oder auf Schmalbandleitungen zu lange dauert.

Trotz dieser wirtschaftlichen Einschränkungen bleiben die Anwendungsmöglichkeiten für die individuelle Bildübertragung in Echtzeit sehr vielseitig. Als einige Beispiele für mögliche Vorlagen aus verschiedenen Bereichen lassen sich anführen:

- Maschinen- oder handgeschriebene Texte, Listen, Grafiken
- Unterschriften, Stempel, Ausweise, Dokumente
- Mathematische Formeln, Schaltbilder, Konstruktionszeichnungen
- Fingerabdrücke, Fahndungsfotos
- Röntgenbilder, EKG-Kurven

Bis auf zwei Beispiele (Fahndungsfotos und Röntgenbilder) haben alle diese Anwendungen ein gemeinsames Merkmal: Sie lassen sich mit zwei Helligkeitsstufen, schwarz und weiß, hinreichend gut darstellen. Es erscheint deshalb sinnvoll, ein eigenes System zu konzipieren, das entweder besonders gut oder ausschließlich geeignet ist für die wirtschaftliche Übertragung dieser Klasse von "Zweittonbildern".

Alle bisher bekannten Verfahren zur Datenreduktion von Bildern gehen von der Voraussetzung aus, daß sichtbare Verfälschungen des Wiedergabebildes gegenüber dem Originalbild um jeden Preis vermieden werden müssen. Jahrzehntelange Erfahrungen im Fernsprechverkehr haben jedoch gezeigt, daß besonders kommerzielle Benutzer durchaus gewisse Qualitätsminderungen in Kauf nehmen, wenn dadurch die Übertragungskosten beträchtlich gesenkt werden können. In vielen Fällen, in denen die gute Qualität der vom Fernsehrundfunk gewohn-

ten Bilder sowieso nicht benötigt wird, werden sich gewisse Qualitätsminderungen auch kaum bemerkbar machen.

Das Multiplexverfahren mit momentaner Prioritätszuteilung, das in Kap. 4 näher beschrieben wird, schien diese Voraussetzung zu erfüllen. Es sollte deshalb ein Experimentiergerät gebaut werden, mit dem sich alle möglichen Variationen dieser Grundidee in Echtzeit darstellen lassen, und das eine objektive Messung sowie eine subjektive Beurteilung der Übertragungsqualität erlaubt.

Im anschließenden Kapitel 2 sollen einige Begriffe näher erläutert werden, die in der Bildverarbeitung eine Rolle spielen. Kapitel 3 beschreibt die prinzipielle Wirkungsweise und einige Ergebnisse der wichtigsten bisher bekannten Methoden zur Quellencodierung von Zweitonvorlagen. In Kapitel 4 werden die grundlegenden Eigenschaften der untersuchten Multiplexverfahren dargestellt, sowie die Ergebnisse, die sich aufgrund theoretischer Vorüberlegungen erwarten lassen. Daran anschließend geht Kapitel 5 kurz auf den experimentellen Aufbau ein, begründet dessen Notwendigkeit und beschreibt seine wichtigsten Teile.

In Kapitel 6 werden die gemessenen Ergebnisse der verschiedenen untersuchten Verfahren den berechneten gegenübergestellt. Bei der Wertung dieser Ergebnisse wird sich zeigen, daß die Übertragungsqualität der beiden Intraframe-Verfahren unzureichend ist im Verhältnis zu den erzielbaren Datenkompressionsfaktoren. Das untersuchte Interframe-Verfahren läßt sich jedoch praktisch für beliebig große Kompressionsfaktoren realisieren und verursacht lediglich zeitlich begrenzte Störungen, deren Dauer vom geforderten Kompressionsfaktor abhängt. Bei durchschnittlichen Zweitonvorlagen klingen diese Störungen durch das Verfahren der "Momentanen Prioritätszuteilung" wesentlich schneller ab als bei einfacheren Vergleichsverfahren. Zum Schluß

folgen noch einige Vorschläge für weitere Verbesserungen, die man bei einer Realisierung des Interframe-MPZ-Verfahrens berücksichtigen könnte.

2. Begriffsbestimmungen

In diesem Kapitel wird zunächst gezeigt, wo die untersuchten Verfahren im umfangreichen Gebiet der Bildverarbeitung eingeordnet werden können. In den anschließenden Unterabschnitten werden einige dabei verwendete Begriffe und Begriffspaare näher erläutert.

Ein Nachrichtenübertragungssystem hat die Aufgabe, Informationen von einer Nachrichtenquelle zu einer Nachrichtenseinke zu übermitteln. Dabei sollen die Nachrichten den Empfänger möglichst schnell, möglichst unverfälscht und möglichst wirtschaftlich erreichen. Das Modell eines Systems, mit dem man optische Information über einen elektrischen digitalen Kanal übertragen kann, ist in Abb. 2.1 dargestellt.

Die Vorlagen werden für die untersuchten Verfahren auf zweidimensionale feste oder bewegte Bilder beschränkt, für die bei der Wiedergabe eine einfarbige Darstellung mit zwei Helligkeitsstufen ausreicht. Als opto-elektrischer Wandler dient eine Fernsehkamera, die die Vorlagen nach einer gebräuchlichen Norm zeilenweise abtastet und in ein eindimensionales elektrisches Analogsignal überführt. Durch den begrenzten Öffnungswinkel und die reduzierte örtliche und zeitliche Auflösung der Kamera ("Fehlanpassung") geht bereits ein Teil der ursprünglich angebotenen optischen Information verloren. Bei der anschließenden Analog-Digital-Wandlung wird das Signal in zwei Amplitudenstufen quantisiert und in diskrete Zeitabschnitte zerlegt. Aus der verwendeten Fernsehnorm und nach dem Abtasttheorem der Nachrichtentechnik wird die Länge dieser Zeitabschnitte so festgelegt, daß bei der Wiedergabe der örtliche Abstand zweier Bildpunkte etwa dem Abstand zweier Bildzeilen entspricht. Im Quellencodierer werden dem digitalen Quellensignal Redundanz und Irrelevanz entzogen. Der reduzierte und weitgehend geglättete Datenfluß müßte dann dem Kanalcodierer zugeführt werden.

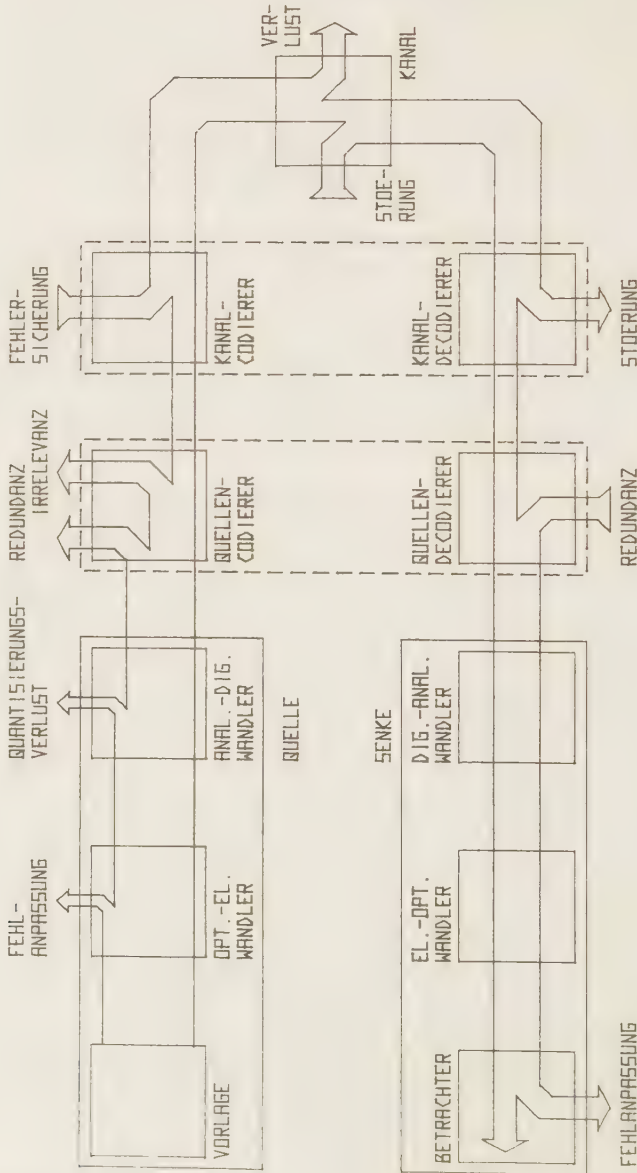


ABB. 2.1 MODELL EINER NACHRICHTENUEBERTRAGUNGSSSTRECKE UND DES INFORMATIONSFLOSSES

Die vorliegende Arbeit befaßt sich jedoch nicht mit der Kanalcodierung; bei allen Betrachtungen wird eine störungsfreie Übertragung oder eine ideale Fehlersicherung durch die Kanalcodierung vorausgesetzt. Der Datenfluß gelangt deshalb sofort in den Quellendecodierer, wo ihm die vorher entzogene Redundanz wieder zugeführt wird.

Als Senke wird ein menschlicher Betrachter vorausgesetzt, dessen Gehirn nur etwa 16 bit/s verarbeiten kann [2], obwohl er über seinen Gesichtssinn ein Vielfaches davon, (ca. $3 \cdot 10^6$ bit/s) angeboten bekommt [3]. Der Überschuß geht durch "Fehlanpassung" verloren.

2. 1 Quellencodierung, Kanalcodierung

Die Aufgabe des Quellencodierers besteht in der Reduzierung der von der Quelle gelieferten Nachrichtenmenge unter Ausnutzung der Quelleneigenschaften. Zweck dieser Reduzierung ist es, auf dem eigentlichen Kanal Übertragungsbedarf einzusparen. Die Reduzierung kann im Idealfall soweit getrieben werden, daß der Quellendecodierer aus dem reduzierten Signal gerade noch den gewünschten Teil der Information mit der vom Empfänger geforderten Wiedergabegüte rekonstruieren kann.

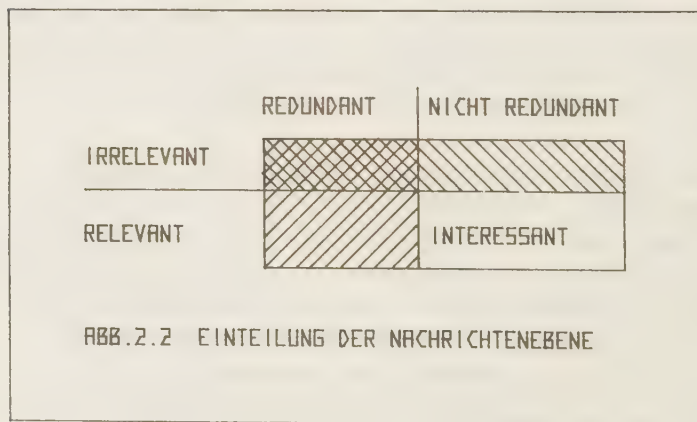
Alle weiteren Veränderungen an diesem ideal reduzierten Signal führen zu Fehlern, die vom Empfänger nicht mehr toleriert werden. Insbesondere reagiert ein solches redundanzfreies Signal sehr empfindlich bei Störungen auf dem Übertragungskanal. Ein Kanalcodierer muß deshalb wieder eine gewisse Menge an Zusatzinformation einfügen, mit deren Hilfe die Störungen, die sich dem Signal auf dem Kanal überlagern, im Kanaldecodierer möglichst vollständig eliminiert werden können. Die effektive Datenreduktion ist also um diese, für die Fehlersicherung benötigte Zu-

satzinformation geringer als die vom Quellencodierer erzielte Reduktion.

Bei der opto-elektrischen Wandlung wird immer nur ein Teil der Information ausgewählt, die eigentlich in der Vorlage steckt. Streng genommen wäre daher der opto-elektrische Wandler ein Teil des Quellencodierers. Die vorliegende Arbeit befaßt sich aber weder mit der Informationsreduktion im opto-elektrischen Wandler noch mit der Analog-Digital-Umsetzung. Als Quellensignal wird deshalb das elektrische digitale Signal angenommen, wie es vom Analog-Digital-Wandler geliefert wird.

2.2 Redundanzreduktion, Irrelevanzreduktion

Nach Shouten [4] kann man die Nachricht, die in einem Quellensignal enthalten ist, gedanklich in vier Anteile zerlegen; eine schematische Darstellung dieser Zerlegung zeigt Abb. 2.2.



Der relevante, nicht redundante Anteil repräsentiert die

vom Empfänger gewünschte interessante Nachricht. Eine datenreduzierende Quellencodierung arbeitet dann optimal, wenn sie genau alle übrigen, also die redundanten und irrelevanten Anteile unterdrückt. Um für verschiedene Reduktionsverfahren vergleichen zu können, wie nahe sie dieser Forderung kommen, müssen diese beiden Begriffe der Redundanz und Irrelevanz definiert werden.

Als redundant bezeichnet man die Teile einer Nachricht, die dem Empfänger schon bekannt sind, oder die er aus bereits übermittelten Teilen ableiten kann. Ein Quellsignal nennt man redundanzfrei, wenn seine Abtastwerte gleich wahrscheinlich und statistisch unabhängig sind. [5]. Die Nachrichtenmenge, die im redundanzfreien Quellsignal enthalten ist, bezeichnet man als seine Entropie. Sie gibt die Informationsmenge an, die man dem Empfänger mindestens übermitteln muß, damit er mit den ihm bekannten Regeln, nach denen die Nachricht verschlüsselt wurde, das Originalsignal vollständig rekonstruieren kann. Das Verhältnis zwischen Entropie und Redundanz wird alleine durch die statistischen Eigenschaften der Vorlage bestimmt. Theoretisch kann man deshalb einem Signal die Redundanz völlig entziehen. Praktisch vereinbart man jedoch einen Reduktionsalgorithmus, der für alle auftretenden Vorlagen gilt. Da aber die statistischen Eigenschaften vieler Vorlagen von den Mittelwerten abweichen, wird ihnen unterschiedlich viel Redundanz entzogen. Ordnet man die Vorlagen in Klassen mit unterschiedlichen Reduzierungsalgorithmen und teilt dem Empfänger zusätzlich mit, nach welchem Algorithmus gerade codiert wird, kann man im allgemeinen mehr Redundanz eliminieren. Wird der Algorithmus während der Übertragung abhängig vom Bildinhalt gewechselt, spricht man von "Adaptiver Codierung".

Der Begriff der Irrelevanz ist weniger eindeutig definiert.

Eine gebräuchliche Definition bezeichnet die Teile einer Nachricht als irrelevant, die man weglassen kann, ohne daß der Empfänger dies bemerkt. Die Grenze zwischen relevanten und irrelevanten Anteilen hängt dabei alleine von psychophysiologischen Gegebenheiten des Empfängers ab. Als wichtigste Grenzen für die Leistungsfähigkeit des Auges kann man angeben [6] :

- für den Helligkeitseindruck die Kontrastempfindlichkeit (Gradationsauflösung)
- in der geometrischen Bildebene die Schärfeempfindlichkeit (Detailauflösung)
- im Zeitbereich die Trägheit des Auges (Bewegungsauflösung).

Die genannten Eigenschaften werden bei der üblichen Fernsehgrundfunkübertragung weitgehend ausgenutzt, allerdings nur unabhängig voneinander. Wenn man mehrere dieser Effekte geeignet kombiniert, erhält man noch weitere Möglichkeiten zur Eliminierung von Irrelevanz.

Eine andere Definition bezeichnet ein Signal dann als irrelevanzfrei, wenn der Empfänger eine Verfälschung gegenüber dem Original zwar bemerkt, das verfälschte Signal aber gerade noch akzeptiert. Bei dieser zweiten Definition spielen auch wirtschaftliche Gesichtspunkte eine wesentliche Rolle. Wenn man sichtbare Fehler zuläßt, kann sich für dieselbe Vorlage je nach Empfänger die Grenze zwischen Relevanz und Irrelevanz stark verschieben. Die Entscheidung, ob eine bestimmte sichtbare Verfälschung zulässig ist, kann deshalb nicht der Systemplaner, sondern nur der Benutzer für jeden konkreten Anwendungsfall neu treffen. Für die vermittelte Breitbandkommunikation ist die Fernsehgrundfunkqualität in vielen Fällen zu hoch und die Übertragung verteuert sich dadurch nutzlos. Bei den vorliegenden Multiplexverfahren geht man deshalb von der Voraussetzung aus, daß sichtbare Fehler nicht um jeden Preis vermieden werden müssen.

2. 3 Zweitonbilder, Grautonbilder

Bei normaler Beleuchtung kann ein menschlicher Betrachter etwa 100 Helligkeitswerte unterscheiden [7]. Sollen deshalb alle Helligkeitswerte einer beliebigen Vorlage ohne Verfälschung wiedergegeben werden, muß man bei einer Übertragung ohne Datenreduktion jeden quantisierten Abtastwert mit 6 bis 8 bit verschlüsseln. Es gibt jedoch Vorlagen, bei denen 1 bit pro Abtastwert für "hell" oder "dunkel" völlig ausreicht. Wie in der Einführung bereits dargelegt wurde, kommen diese Anwendungsfälle so häufig vor, daß man diese Bildklasse unter einem eigenen Namen als "Zweitonbilder" zusammenfaßt. Im Gegensatz dazu bezeichnet man alle Bilder, bei denen für eine brauchbare Wiedergabequalität mehr als zwei Helligkeitswerte benötigt werden, als "Grautonbilder". Für die Übertragung von Grautonsbildern braucht man von vornherein mehr Übertragungskapazität als für Zweitonbilder. Auch bei der Verarbeitung und Speicherung von Grautonsbildern muß man die erforderlichen apparativen Einrichtungen meist mehrfach bereitstellen. Demgegenüber hat man in der quasikontinuierlichen Verteilung der Amplitudenstufen bei Grautonsbildern einen zusätzlichen Freiheitsgrad zur Verfügung, bei dem man zur Datenreduktion in vielfältiger Weise ansetzen kann. Weil hier der Phantasie ein weiter Spielraum bleibt, sind beträchtlich mehr Verfahren zur Verarbeitung von Grautonsbildern als von Zweitonbildern bekannt geworden.

2. 4 Textübertragung, Semantische Bildübertragung, Punktweise Bildübertragung

Die Übermittlung alpha-numerischer Zeichen, also Buchstaben, Ziffern und Satzzeichen, nur nach ihrer Bedeutung, ohne Berücksichtigung ihrer gedruckten oder geschriebenen Form, bezeichnet man als Textübertragung. Zwischen Sender

und Empfänger ist ein begrenzter Zeichenvorrat, das "Alphabet", vereinbart, dem alle übermittelten Zeichen angehören. Jedem Zeichen ist ein bestimmtes elektrisches Signal zugeordnet, das aus einer Folge von Ja/Nein-Schritten besteht. Zur Übertragung von Bildern läßt sich das Verfahren der Textübertragung nur einsetzen, wenn die Vorlage ausschließlich aus den vereinbarten alphanumerischen Zeichen besteht, wenn außerdem die Form der Zeichen keine Rolle spielt, und wenn schließlich nur die Reihenfolge der Zeichen wichtig ist, nicht ihre absolute Lage im Bild. Eine weitere Voraussetzung für den wirtschaftlichen Einsatz ist die Verfügbarkeit einer automatischen Leseeinrichtung, die die optisch angebotenen Zeichen abtastet, klassifiziert und in die zugeordneten elektrischen Signale umformt. Wenn sich die Textübertragung einsetzen läßt, hat man ein Verfahren, das extrem wenig Übertragungskapazität erfordert. Nicht einsetzen läßt sich das Verfahren deshalb beispielsweise zur Übertragung von Handschrift, exotischen Schrifttypen oder Zeichnungen.

Eine Einrichtung zur automatischen Mustererkennung benötigt man ebenfalls bei der "Semantischen Bildübertragung", mit der man auch komplexere Zweittonbilder übertragen kann. Das Bild wird dabei in kleine Bildelemente zerlegt, die mit einem erweiterten Alphabet von Grundstrukturen verglichen und dann klassifiziert werden. Mit einem entsprechend ausgelegten Alphabet können die unvermeidlichen Verfälschungen klein gehalten werden. Die Forschung auf diesem Gebiet steht noch am Anfang. Die bisher bekannten Verfahren der Semantischen Bildübertragung werden in Kap. 3.2 und 3.3 beschrieben.

Die untersuchten Multiplexverfahren gehen alle von der "Punktweisen Bildübertragung" aus, mit der man Bilder beliebigen Inhalts übertragen kann. Zweckmäßigerweise macht man zwar auch gewisse Annahmen, welche Klassen von

Bildvorlagen am häufigsten auftreten werden. Man bleibt aber doch verhältnismäßig flexibel und kann sich auch nach der Systemplanung noch weitgehend den Gewohnheiten der Benutzer anpassen, die man ja erst endgültig kennt, wenn man längere Zeit Erfahrungen mit einem installierten System sammeln konnte.

2.5 Intraframe-Codierung, Interframe-Codierung

Im einfachsten Fall betrachtet man ein Bildsignal als gedächtnislose Quelle, die gerade dann keine Redundanz enthält, wenn alle Amplitudenstufen mit gleicher Wahrscheinlichkeit auftreten, bei Zweittonbildern also dann, wenn 50 % der Bildfläche schwarz und 50 % der Bildfläche weiß sind. Bei den für die Übertragung wichtigsten Bildarten wie Schreibmaschinenschrift und Strichzeichnungen liegt jedoch der Schwarzanteil im allgemeinen zwischen 6 und 12 %. Dieser Unterschied der Wahrscheinlichkeiten für schwarze und weiße Punkte läßt sich zur Redundanzreduktion ausnutzen, und zwar umso effektiver, je größer dieser Unterschied ist.

Bei gedächtnisbehafteten Bildsignalen liegt die größte Redundanz in der Korrelation der Helligkeitswerte, also in den statistischen Bindungen benachbarter Bildpunkte. Bei bewegten zweidimensionalen Bildvorlagen sind in diesem Zusammenhang unter "benachbart" drei Möglichkeiten zu verstehen:

1. horizontal benachbart, also aufeinanderfolgende Bildpunkte einer Zeile
2. vertikal benachbart, also bei aufeinanderfolgenden Zeilen an gleicher Stelle liegende Bildpunkte
3. zeitlich benachbart, also bei aufeinanderfolgenden Vollbildern in gleicher Zeile an gleicher Stelle liegende Bildpunkte

Bei Zerlegung der Bildvorlage nach einer üblichen Fernsehnorm werden alle benachbarten Punkte zeitlich getrennt und

zwar in den Abständen zweier Bildpunkte, zweier Bildzeilen oder zweier Vollbilder. Um die statistischen Bindungen benachbarter Punkte zur Datenreduktion heranziehen zu können, muß man ihre Abtastwerte gleichzeitig zur Verfügung haben. Man benötigt deshalb Datenspeicher unterschiedlicher Länge, und zwar für die Aufhebung der statistischen Bindungen in Zeilenrichtung mindestens einen Speicher für einen Punkt, senkrecht zur Zeilenrichtung einen Speicher für eine Bildzeile und für den Vergleich benachbarter Bildpunkte in aufeinanderfolgenden Vollbildern mindestens einen Speicher für ein komplettes Vollbild.

Da der Einsatz eines Vollbildspeichers augenblicklich noch einen beträchtlichen Aufwand darstellt, hat man für alle Verfahren, die einen solchen Speicher benötigen, die Sammelbezeichnung "Interframe-Codierung" (Codierung zwischen Vollbildern) eingeführt. Wenn man dagegen zur Codierung lediglich die absolute Wahrscheinlichkeitsverteilung oder die beiden örtlichen Nachbarschaften ausnutzt, spricht man von "Intraframe-Codierung" (Codierung innerhalb eines Vollbildes).

2.6 Festbilder, Festbildfolgen, Bewegtbilder

Eine zeitlich unveränderliche zweidimensionale Bildvorlage bezeichnet man als Festbild. Bei der Übertragung von Festbildern ist es meistens unerheblich, wie lange die Übertragung dauert. Man kann deshalb Übertragungszeit beliebig gegen Bandbreite tauschen und sich so verschiedenen Übertragungskanälen anpassen. Dagegen wird in den meisten Anwendungsfällen ein fehlerfrei rekonstruiertes Bild mit hoher Auflösung gefordert. Geräte zur Festbildübertragung von Zweitonbildern sind als Faksimilegeräte in Gebrauch. Bei der Aufnahme wird die

Vorlage mit hoher Auflösung und im allgemeinen so langsam abgetastet, daß die Abtastwerte direkt über schmalbandige Kanäle übertragen werden können. Bei der Wiedergabe erfolgt eine Speicherung auf Papier als billigstem Speichermedium.

Im Gegensatz dazu spielt bei Festbildfolgen die Übertragungszeit eine größere Rolle. Wird sie nämlich so weit verringert, daß nur noch etwa 20 bis 40 s zur Übertragung eines vollständigen Bildes benötigt werden, dann sind Verfahren vorstellbar, die gesprächsbegleitend den relativ häufigen Wechsel eines stehenden Bildes ermöglichen [1]. Dazu sollte die Übertragungseinrichtung die einzelnen Festbilder so schnell hintereinander übertragen können, daß sie das nächste Festbild sofort nach der Auswertung des vorhergehenden durch den Empfänger bereitstellen kann. Dadurch läßt sich das Entstehen eines Bildes (z. B. einer Handskizze) verfolgen oder die Diskussion verschiedener Bildvorlagen erleichtern. Festbildfolgen könnten sich als eine kostenmäßig interessante Vorstufe (oder Alternative) zur Bewegtbildübertragung erweisen. Die Übertragung von Festbildfolgen ist nur sinnvoll, wenn die Auswertung der einzelnen Bilder unmittelbar nach der Übertragung erfolgt. Daher ist es im allgemeinen sinnlos, die Bilder längere Zeit zu speichern. Man verwendet daher zweckmäßigerweise einen Speicher, der die Informationen schnell genug aufnehmen kann, der sie bis zu ihrer endgültigen Auswertung wiederholt ausgeben kann und der schließlich durch neu ankommende Information überschrieben wird.

Folgen Bilder mit unterschiedlichem Inhalt so schnell aufeinander, daß das Auge sie nicht mehr voneinander trennen kann und deshalb eine kontinuierliche Bewegung empfindet, spricht man von Bewegtbildern. Bei Bewegtbildern muß man also soviel Übertragungskapazität vor-

sehen, daß der Eindruck der kontinuierlichen Bewegung beim Empfänger nicht verlorenght. Eine Speicherung ist bei Bewegtbildübertragung nicht mehr nötig.

3. Quellencodierungsverfahren für Zweitonbilder

(Stand der Technik)

In diesem Kapitel werden als Stand der Technik einige Verfahren beschrieben, die an anderer Stelle untersucht wurden und zum Teil noch untersucht werden. Außer der prinzipiellen Wirkungsweise dieser Verfahren werden auch ihre wichtigsten Ergebnisse dargestellt.

3.1 Langsame Abtastung mit Interpolation

Um ein System zur Übertragung optischer Information, also beispielsweise ein Fernsehsystem, konzipieren zu können, benötigt man als Parameter die gewünschte Bewegungsauflösung sowie die örtliche Auflösung in horizontaler und vertikaler Richtung. Dabei sollte die maximale örtliche Auflösung in beiden Richtungen etwa gleich sein. Aus diesen Angaben und nach dem Abtasttheorem der Nachrichtentechnik läßt sich berechnen [8] [5] , in welchen zeitlichen Abständen man die Bildvorlage abtasten muß, um die geforderte maximale Auflösung bei der Digitalisierung nicht zu verlieren. Wenn man durch Tiefpaßfilterung des eindimensionalen elektrischen Analogsignals dafür sorgt, daß das Abtasttheorem nicht verletzt wird, kann man zur Einsparung von Übertragungsbedarf die Abtastrate kontinuierlich herabsetzen. In gleichem Maße wird dadurch die örtliche Auflösung verringert, und zwar bei der üblichen zeilenweisen Abtastung einseitig die Auflösung in horizontaler Richtung. Nach dieser sehr einfachen Methode sind deshalb nur geringfügige Einspar-

rungen möglich, etwa dann, wenn die Abtastrate für ein gegebenes Fernsehsystem nur wenig größer wäre als der Systemtakt eines ebenfalls gegebenen Übertragungssystems.

Größere Einsparungen an Übertragungsbedarf lassen sich auf Kosten der örtlichen oder zeitlichen Auflösung erzielen, wenn man die systembedingte Abtastrate konstant läßt, dafür aber nur jeden n -ten Punkt als Stützwert überträgt. Die Lücken können dabei in Zeilenrichtung, senkrecht zur Zeilenrichtung oder in Bildrichtung gelegt werden. Der Übertragungsbedarf sinkt dabei ebenso wie die Auflösung um den Reduktionsfaktor n . Die unterdrückten Punkte werden von der Empfangseinrichtung vor der Wiedergabe durch Interpolationseinrichtungen aufgefüllt. Im einfachsten Fall wird dabei der horizontal, vertikal oder zeitlich vorhergehende Stützwert solange wiederholt ausgegeben, bis ein neuer Stützwert übertragen wird. Zu diesem Zweck muß der Empfänger einen Speicher besitzen, und zwar bei horizontalen Lücken für einen Punkt, bei vertikalen Lücken für alle Punkte einer Zeile und bei zeitlichen Lücken für alle Punkte eines Vollbildes. Das Verfahren läßt sich verbessern, wenn man zur Berechnung eines Interpolationswertes mehrere Nachbarstützwerte, evtl. mit unterschiedlichem Gewicht, heranzieht. Die Verbesserung wird allerdings erkaufte durch zusätzlichen Rechenaufwand und durch höheren Speicherbedarf, da ja sämtliche ausgewerteten Nachbarstützwerte gleichzeitig zur Verfügung stehen müssen. Wenn die örtliche oder zeitliche Auflösung einer Vorlage wesentlich geringer ist als die entsprechende Auflösung des Fernsehsystems, kann man dieses Verfahren vorteilhaft zur reinen Redundanzreduktion heranziehen. Wenn andererseits der Empfänger die von der Vorlage angebotene beziehungsweise die vom System erreichbare Auflösung nicht benötigt, läßt sich das Verfahren zur Irrelevanzreduktion benutzen. Treibt man die Unter-
setzung der Abtastung noch weiter, werden relevante und

irrelevante, redundante und nicht redundante Anteile von der Reduzierung gleichmäßig betroffen. Es entstehen dadurch Fehler, die nicht mehr toleriert werden können, und die proportional zur Einsparung anwachsen.

Es handelt sich hier um ein Verfahren, mit dem man bei verhältnismäßig geringem Aufwand Reduktionsgewinn gegen örtlichen oder zeitlichen Auflösungsverlust eintauschen kann. Es eignet sich daher als Vergleichsverfahren zur Beurteilung der subjektiven Qualität aller Verfahren, die zur Erzielung hoher Reduktionsfaktoren gewisse Qualitätseinbußen zulassen.

3.2 Reduzierung des Mustervorrats

Beim Verfahren des reduzierten Mustervorrats handelt es sich um eine reine Irrelevanzreduktion. Wie bei jeder Irrelevanzreduktion hängt die erreichbare Einsparung stark von den Wünschen des Benutzers ab. Ziel des Verfahrens ist es, mittels einer Merkmalanalyse der Klasse der zugelassenen Vorlagen die systembedingten Verfälschungen auf unwesentliche Details zu beschränken, den relevanten Inhalt der Vorlagen aber möglichst wenig zu verändern.

Man teilt zunächst die Bildfläche in kleine, quadratische Bereiche ein, die aus jeweils I Punkten bestehen, und die jeweils 2^I unterschiedliche Muster enthalten können. Durch Zusammenfassung ähnlicher Muster erzeugt man einen reduzierten Satz von $2^J < 2^I$ Grundmustern. Jedes abgetastete Muster wird auf eines dieser Grundmuster zurückgeführt und als solches codiert und übertragen. Der Übertragungsbedarf für einen Bereich reduziert sich somit von I auf J bit, wobei eine geeignete Auswahl von Grundmustern für eine ausreichende Qualität des rekonstruierten Bildes sorgt. Über-

tragungsfehler beschränken sich in ihrer Wirkung auf den isolierten Bereich der I Punkte. Der Speicherbedarf beträgt bei zeilenweiser Abtastung $\sqrt{I}$ Zeilen, während der Schaltungsaufwand vom Satz der Grundmuster abhängt. In [9] wird über die Rechnersimulation eines Verfahrens berichtet, das die Bildfläche in Bereiche mit je 3×3 Bildpunkten einteilt. Für jeden Bereich ergeben sich damit 2^9 mögliche Muster, die auf 2^5 Grundmuster abgebildet werden. Man erhält einen Reduktionsfaktor von $9/5 = 1.8$, wobei die Qualität stark von der verwendeten Auflösung abhängt. In dieser Grundform läßt sich das Verfahren auf beliebige Zweitontvorlagen anwenden. Treten die Grundmuster außerdem mit unterschiedlicher Häufigkeit auf, kann man nach dem Prinzip der Optimalcodierung [10] häufige Grundmuster mit kurzen und seltene Grundmuster mit langen Codeworten verschlüsseln. Bei einer Anpassung des Codes an die jeweilige Vorlage kann der Reduktionsfaktor damit auf etwa 3.8 erhöht werden.

Beschränkt man die möglichen Vorlagen auf Ansammlungen isolierter alphanumerischer Zeichen und paßt die Größe des abgetasteten Bereichs der Größe dieser Zeichen an, gelangt man zu einer Zeichenerkennung mit anschließender Textübertragung. Als Grenzfall kann man auch diese entartete Bildübertragung zu den Übertragungsverfahren mit reduziertem Mustervorrat rechnen.

3.3 Konturcodierung

Zur vollständigen Übertragung einer Zweitontvorlage genügt es, wenn man die Grenzen der schwarzen Bildteile, also die Information über die Lage der Rand- oder Konturpunkte überträgt. Die Fläche innerhalb der Kontur muß bei der Rekonstruktion wieder mit schwarzen Punkten aufgefüllt werden. Bei der reinen zeilenweisen Abtastung bringt eine Übertra-

gung der Konturpunkte ohne weitere Maßnahmen keinen Gewinn. Auch wenn man dazu überginge, die Information über die absolute Lage jedes einzelnen Konturpunktes zu übertragen, bekäme man in den meisten Fällen einen höheren Übertragungsbedarf als bei punktwiser Übertragung und bräuchte außerdem einen Vollbildspeicher bei Sender und Empfänger. In [11] sind zwei Verfahren zur Konturcodierung beschrieben. Sie benutzen beide die Einschränkungen, daß alle Konturen in sich geschlossen und voneinander durch Zwischenräume getrennt sind. Beim ersten Verfahren läßt man die Abtasteinrichtung zunächst nach einem beliebigen Anfangspunkt einer Kontur suchen, dessen absolute Lage mit 11 bit codiert und übertragen wird. Dann fragt man ab, welcher der acht unmittelbaren Nachbarpunkte den nächsten Konturpunkt enthält und überträgt dessen relative Lage mit 3 bit. Das wiederholt man solange, bis man den Anfangspunkt wieder erreicht hat, dann sucht man nach der nächsten Kontur. Der Reduktionsfaktor ist stark von der jeweiligen Vorlage abhängig; er ist umso höher, je weniger Konturpunkte im Verhältnis zur Gesamtzahl aller Bildpunkte vorhanden sind. Eine Reduktion ist überhaupt erst zu erwarten, wenn weniger als ein Drittel der Gesamtfläche aus Konturpunkten besteht. Für Schreibmaschinentypen ohne Berücksichtigung der Zwischenräume erreicht man bei einer Auflösung von 20 Zeilen pro Großbuchstabe einen Reduktionsfaktor von 2.0, bei einer Auflösung von 50 Zeilen pro Großbuchstabe einen Reduktionsfaktor von 5.0. Bei diesem Verfahren handelt es sich um eine reine Redundanzreduktion, es treten deshalb keine systembedingten Fehler auf. Übertragungsfehler können sich dann schwerwiegend auswirken, wenn dadurch die Geschlossenheit der Kontur verlorengeht und der Anfang einer neuen Kontur nicht explizit mitgeteilt wird. Durch entsprechende Vorverarbeitung, beispielsweise eine Irrelevanzreduktion durch Glättung der Konturen [12], kann die Anzahl der Konturpunkte verringert und damit die Reduktion vergrößert werden.

Bert werden.

Beim zweiten Verfahren, das eine gemischte Redundanz- und Irrelevanzreduktion benutzt, wird die Kontur in einzelne Stücke zerlegt, die sich durch Kurvenabschnitte (zum Beispiel Kreisbögen und Strecken) annähern lassen. Diese Annäherung muß so erfolgen, daß die systembedingten Fehler klein bleiben. Übertragen wird pro Kurvenabschnitt die absolute Lage des Anfangspunktes, des Endpunktes und eines Punktes in der Mitte mit jeweils 11 bit. Bei einer geschlossenen Kontur fallen Endpunkte und Anfangspunkte aufeinanderfolgender Kurvenabschnitte zusammen und brauchen deshalb nur einmal übertragen werden. Der Schaltungsaufwand für die Ermittlung der Übertragungspunkte und für die Rekonstruktion der Kontur ist bedeutend höher als beim ersten Verfahren. Bei grober Auflösung arbeitet das erste, bei feiner Auflösung das zweite Verfahren effizienter. Bei gleichen Auflösungen wie beim ersten Verfahren betragen die entsprechenden Reduktionsfaktoren 1.5 und 7.5.

3.4 Runlängen-Codierung (Lauflängen-Codierung)

Bei diesem Verfahren zerlegt man die Bildzeilen in Abschnitte gleicher Helligkeit, sogenannte Runs [13] [14] . Für jeden Run wird ein Binärcodewort erzeugt, das die in ihm enthaltene Anzahl von Bildpunkten angibt.

Eine Einsparung läßt sich immer dann erzielen, wenn die vorkommenden Runs im Mittel länger sind als die zu ihrer Beschreibung verwendeten Codeworte. Man erhält damit eine obere Grenze für die mögliche Länge dieser Codeworte. Treten Runs auf, die zu lang sind, um sie mit einem Wort codieren zu können, werden sie in mehrere aufeinanderfolgende Runs gleicher Helligkeit zerlegt. Die untere Grenze stellen Codeworte der Länge Eins dar,

bei der das Verfahren in eine punktweise Übertragung ohne jede Einsparung übergeht. Die optimale Codewortlänge ist stark von der jeweiligen Vorlage abhängig; sie muß deshalb als Kompromiß für alle möglichen Vorlagen fest vereinbart oder an jede einzelne Vorlage adaptiert werden.

Solange auf einen weißen Run immer ein schwarzer folgt und umgekehrt, ist es unnötig, die Helligkeitswerte gesondert zu übertragen. Bei aufeinanderfolgenden Runs gleicher Helligkeit wird dem Empfänger durch das Auftreten des Codeworts für die maximale Runlänge signalisiert, daß sich der Helligkeitswert für den folgenden Run ausnahmsweise nicht ändert. Bei den weitaus meisten Vorlagen sind weiße Runs im Durchschnitt wesentlich länger als schwarze [15], man verwendet deshalb besser verschieden lange Codeworte für weiße und schwarze Runs.

Wegen des unregelmäßigen Datenflusses benötigt man bei der Runlängen-Codierung Pufferspeicher im Codierer und Decodierer, um eine Glättung des Datenflusses und damit bei gleicher Datenmenge eine Reduzierung der Übertragungsrate zu erreichen. Wenn die Codeworte mit unterschiedlicher Häufigkeit auftreten, kann man hier ohne zusätzlichen Speicheraufwand eine Optimalcodierung [10], (Kap. 3.2) anschließen, die sich für diese begrenzte Anzahl von Codeworten mit vertretbarem Aufwand realisieren läßt. Aus der Wahrscheinlichkeitsverteilung statistisch unabhängiger Runs verschiedener Länge läßt sich die Entropie H für einen Bildpunkt berechnen. Arps hat diese Rechnung durchgeführt [15] und für Schreibmaschinentext ein $H = 0.244$ bit/Bildpunkt ermittelt. Mit dieser Annahme der statistischen Unabhängigkeit der einzelnen Runs läßt sich theoretisch ein maximaler Reduktionsfaktor $K = 1/H = 4.1$ erreichen. Praktisch ausgeführte Anordnungen erzielten für Wetterkarten (mit einer anderen Statistik

als Schreibmaschinentext) Reduktionsfaktoren zwischen 2.8 und 5.7 [14] .

In der Aufeinanderfolge bestimmter Runlängen sind noch weitere statistische Abhängigkeiten enthalten, die man zur Datenreduktion verwenden kann. Bei der Runlängendifferenz-Codierung [13] nutzt man die Korrelation von Runs aufeinanderfolgender Zeilen aus. Die Länge eines Runs wird von der entsprechenden Runlänge der vorhergehenden Zeile subtrahiert, und für jeden Run wird ein Codewort erzeugt, das die Differenz anzeigt. Mit einer Runlängendifferenz-Codierung läßt sich für manche Vorlagen eine etwas größere Reduktion erzielen als mit der einfachen Runlängen-Codierung, der Gewinn wird allerdings erkaufte durch Zeilenspeicher im Codierer und Decodierer. Ein anderes Problem der Runlängendifferenz-Codierung tritt auf, wenn in einer Zeile neue Runs erscheinen, die in der vorigen Zeile noch nicht da waren, oder bisher vorhandene Runs von einer Zeile zur nächsten verschwinden. In diesen Fällen müssen im allgemeinen Sonderzeichen in die Codewortfolge eingefügt werden, die dem Empfänger anzeigen, daß der Sender auf ein anderes Codealphabet umschaltet, um ein neues Paar von Runs mit seinen absoluten Längen einzufügen oder ein altes Paar zu entfernen. Preuß [14] berechnete für die Runlängendifferenz-Codierung (und für den gleichen Schreibmaschinentext wie Arps) die Entropie als $H = 0.237$ bit/Bildpunkt und entsprechend den theoretisch möglichen Reduktionsfaktor als $K = 4.2$. Ein praktischer Aufbau erreichte für Wetterkarten Reduktionsfaktoren zwischen 3.0 und 5.6 [14] .

Bei allen Varianten der Runlängen-Codierung handelt es sich um reine Redundanzreduktion, systembedingte Fehler treten also nicht auf. Dagegen können sich bestimmte Übertragungsfehler praktisch unbegrenzt fortpflanzen, wenn nicht geeignete Maßnahmen dagegen getroffen werden.

3.5 Direktes MPZ-Verfahren

Die prinzipielle Funktion eines Multiplexverfahrens mit momentaner Prioritätszuteilung für Zweittonbilder (künftig kurz "Direktes MPZ-Verfahren" genannt) wurde erstmals von Seitzer et al. [16] beschrieben. Stucki [17] veröffentlichte theoretische Überlegungen und Simulationsergebnisse; das Verfahren gehört also zum Stand der Technik. Da jedoch die beiden neuen Verfahren, Differenz- und Interframe-MPZ, auf den Funktionsprinzipien des direkten MPZ-Verfahrens aufbauen und zum Teil von ähnlichen theoretischen Überlegungen ausgehen, sollen die grundsätzliche Wirkungsweise und die wichtigsten Ergebnisse in den folgenden Kapiteln ausführlicher dargestellt werden.

4. Multiplexübertragung mit momentaner Prioritätszuteilung

In diesem Kapitel werden zunächst die gemeinsamen Grundlagen für alle Multiplexverfahren mit momentaner Prioritätszuteilung behandelt. Es folgt eine Funktionsbeschreibung des von Stucki [17] untersuchten direkten MPZ-Verfahrens sowie eine Darstellung einiger typischer Rechnergebnisse. Daran schließen sich Beschreibungen der beiden neuen Verfahren, des Differenz-MPZ-Verfahrens und des Interframe-MPZ-Verfahrens an. Die Grundgedanken und auch die theoretische Herleitung dieser beiden Verfahren unterscheiden sich wesentlich vom direkten Verfahren, sind jedoch untereinander ähnlich. Bezüglich der Ergebnisse sind direktes und Differenz-Verfahren etwa gleichwertig, während das Interframe-Verfahren beträchtlich höhere Kompressionsfaktoren und eine bessere Qualität verspricht.

4.1 Gemeinsame Grundlagen

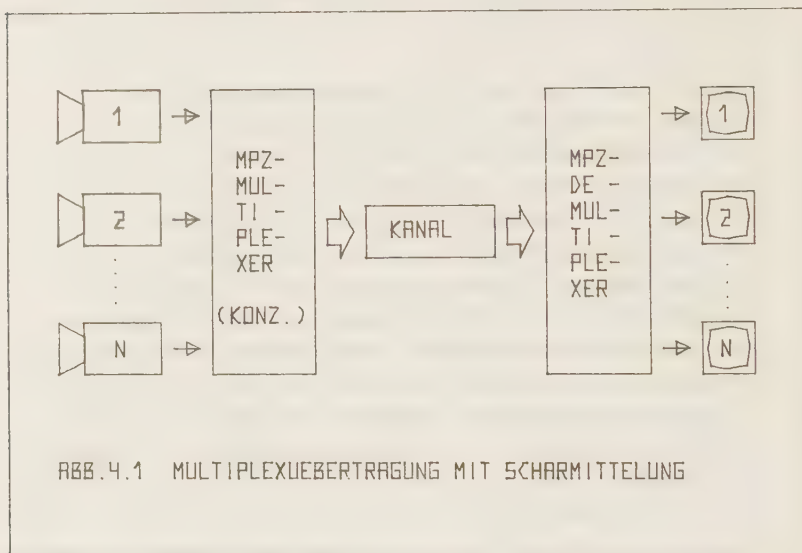
Jede Bildvorlage erzeugt in der Regel einen stark schwankenden Informationsfluß. Will man nun für eine solche Signalquelle ein Zeitmittel über aufeinanderfolgende Bereiche mit unterschiedlichem Informationsgehalt bilden, um dadurch den schwankenden Datenfluß zu glätten, benötigt man einen Pufferspeicher. Faßt man dagegen viele statistisch unabhängige Bilder zusammen, indem man sie synchron abtastet, können informationsreiche Abschnitte einzelner Bilder mit informationsärmeren Abschnitten anderer Bilder zusammenfallen. Durch die Summierung der einzelnen statistisch schwankenden Anteile ergibt sich ein weitgehend konstanter resultierender Informationsfluß. Bei der simultanen Codierung mehrerer Vorlagen bildet man ein Scharmittel über gleichzeitig eintreffende Codeworte

von vielen verschiedenen Signalquellen, das für stochastisch-ergodische Quellen einem Zeitmittel gleichwertig ist. Man kann den Pufferspeicher durch einen weniger aufwendigen Konzentrator ersetzen und erreicht trotzdem einen gleichmäßigen Datenfluß.

Bei der Zeitmittelung gibt es Schwierigkeiten, wenn der mittlere Informationsfluß längere Zeit überschritten wird. Der Pufferspeicher läuft dann über und es geht Information verloren. Je größer der Pufferspeicher ist, desto stärkere Schwankungen kann er ausgleichen, bei praktischen Anwendungen muß man aber einen Kompromiß schließen zwischen Fehlerrate und Pufferspeicheraufwand. Ähnliche Schwierigkeiten gibt es bei der Scharmittelung, wenn der resultierende Informationsfluß noch zu hohe Spitzen enthält. Man kann zwar die Zahl der Konzentratoreingänge weiter erhöhen, also noch mehr Bilder gleichzeitig abtasten, um den resultierenden Informationsfluß dadurch noch besser zu glätten, stößt aber auch hier bald an eine praktische Grenze. Man versucht deshalb, die Fehlerrate durch andere Maßnahmen zu senken und den verbleibenden unvermeidlichen Informationsverlust so zu verteilen, daß im wesentlichen nur redundante und irrelevante Anteile verlorengehen. Verschiedene Möglichkeiten, die man dazu bei der Scharmittelung hat, sollen deshalb in den folgenden Abschnitten einander gegenübergestellt und die aussichtsreichsten in den weiteren Kapiteln näher beschrieben und untersucht werden.

Wie sich die Scharmittelung mit einem Konzentrator zur Datenreduktion von Zweitonfernsehbildern einsetzen läßt, ist aus [16] bekannt, und soll hier kurz noch einmal wiedergegeben werden. Abb. 4.1 zeigt die prinzipielle Anordnung des ganzen Systems. In seiner Grundversion besteht es auf der Senderseite aus N Fernsehkameras, die N verschiedene Bildvorlagen punktsynchron abtasten,

und dem "MPZ-Multiplexer" als Konzentrator, der die von den Kameras kommenden Signale zusammenfaßt, bei gleichzeitiger Glättung reduziert, und für die Übertragung



codiert. Der entsprechende Demultiplexer auf der Empfängerseite decodiert die Signale und beliefert die N Monitoren mit den rekonstruierten Bildern. Man könnte die Anordnung zunächst für ein konventionelles Zeitmultiplex-System halten, bei dem N ankommende Kanäle durch sequentielle Abfrage auf einen gemeinsamen Übertragungskanal mit der N -fachen Bandbreite konzentriert werden. Der MPZ-Multiplexer überträgt im Gegensatz dazu nur einen Teil $NM < N$ der ankommenden Signale und unterdrückt die übrigen. Die folgenden Ausführungen gelten für den praktisch interessanten Fall $NM = 1$ (Abb. 4.2). Durch diese Unterdrückung treten Fehler auf, die in Abb. 4.2

als "F" markiert sind. Welche Signalquelle für die Übertragung ausgewählt wird, legt der Multiplexer nach besonderen Prioritätsregeln für jeden Abtastwert neu fest.

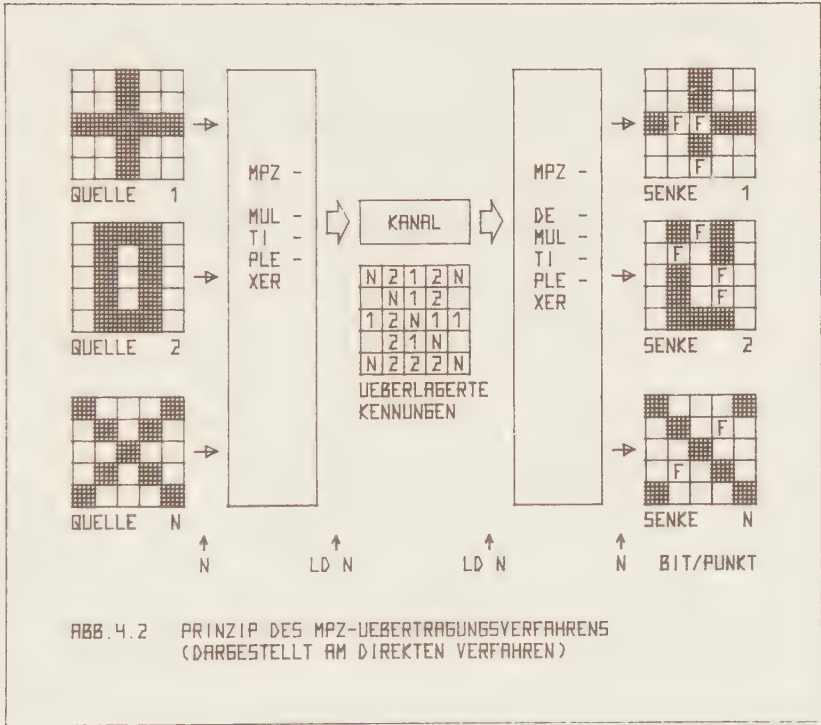


ABB.4.2 PRINZIP DES MPZ-UEBERTRAGUNGSVERFAHRENS
(DARGESTELLT AM DIREKTEN VERFAHREN)

Daher kommt auch der Name für das Verfahren: "Momentane Prioritäts-Zuteilung", (kurz MPZ). Die Adresse der ausgewählten Signalquelle 1,2,...,N wird dann als Codewort der Länge ld N zum Demultiplexer auf der Empfangsseite übertragen, der die Information nach vereinbarten Regeln rekonstruiert und an den entsprechenden Monitor

weiterleitet. In der Bedeutung und Behandlung dieser Übertragungsmeldung unterscheiden sich die drei grundsätzlich verschiedenen Verfahren.

4.2 Art der Darstellung

Die Parameter, die in den folgenden Untersuchungen eine Rolle spielen, sollen zunächst definiert werden:

L · N Teilnehmer benutzen eine gemeinsame Multiplex-
einrichtung sowie L gemeinsame Übertragungskanäle

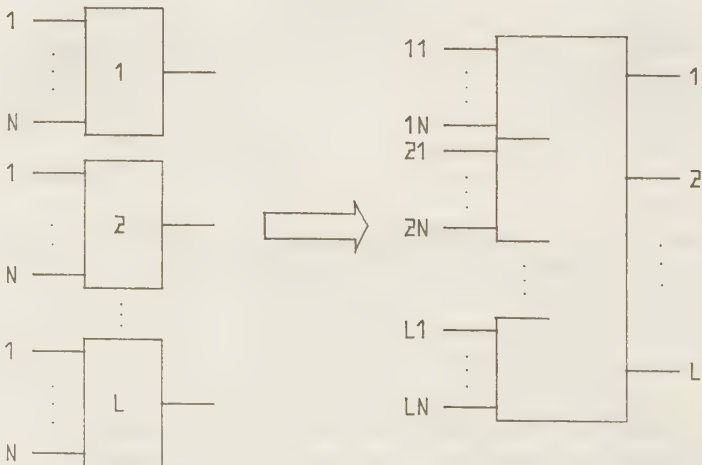


ABB. 4.3 MPZ-SYSTEM MIT EINFACH- UND MEHRFACHZUGRIFF

(Abb. 4.3, rechte Seite). Das Verhältnis des Übertragungsbedarfs ohne Quellencodierung zum Übertragungsbedarf mit Quellencodierung bezeichnet man als Kompressionsfaktor K.

Der Schwarzwert S wird definiert als Verhältnis der schwarzen Bildfläche zur gesamten Bildfläche (bei digitalisierten Bildern auch als Anzahl der schwarzen Bildpunkte zur Anzahl aller Bildpunkte).

Als Fehlerrate F bezeichnet man die Anzahl der falsch rekonstruierten Punkte im Verhältnis zu allen Punkten. Man könnte außerdem für das Verhältnis F/S einen eigenen Namen einführen und es als Verlustwahrscheinlichkeit V bezeichnen. Da jedoch nur beim direkten MPZ-Verfahren $V \leq 1$ gilt, soll hier auf diese Bezeichnung verzichtet werden.

Bei Zweitenvorlagen lassen sich signifikante Ereignisse (schwarze Punkte oder Helligkeitswechsel) mit 1 bit/Bildpunkt übertragen. Tastet man N Vorlagen gleichzeitig ab, erhält man einen Übertragungsbedarf von N bit/Abtastintervall. Bei allen MPZ-Verfahren wird jedoch nur die Adresse der Quelle übertragen, von der das signifikante Ereignis im jeweiligen Abtastintervall stammt, und die sich mit $\lg N$ bit verschlüsseln läßt. Man erhält also den Kompressionsfaktor

$$K = \frac{N}{\lg N} \quad (\text{IV.1a})$$

Man muß jedoch ein Adreßcodewort, das sogenannte Nullwort, für den Fall vorsehen, daß momentan keine Quelle

ein signifikantes Ereignis liefert. Man kann deshalb mit der Wortlänge $\lg N$ nur $N-1$ Empfänger (und $N-1$ Sender) unterscheiden und daher auch nur $N-1$ Quellen anschließen. Der reale Kompressionsfaktor reduziert sich somit auf

$$K = \frac{N-1}{\lg N} \quad (\text{IV. 1 b}).$$

Bei einem System mit Mehrfachzugriff ($L \cdot N$ ankommende und L abgehende Leitungen) (Abb. 4.3) braucht man zur Verschlüsselung einer Senderadresse $\lg(L \cdot N)$ bit/Abtastintervall. Man erhält als Kompressionsfaktor

$$K = \frac{L \cdot N}{L \cdot \lg(L \cdot N)} = \frac{N}{\lg(L \cdot N)} \quad (\text{IV. 2 a})$$

und mit Berücksichtigung des Nullwortes

$$K = \frac{L \cdot N - 1}{L \cdot \lg(L \cdot N)} \quad (\text{IV. 2 b}).$$

Für N , L , $\lg N$ und $\lg(L \cdot N)$ sind in diesem Zusammenhang nur ganzzahlige Werte sinnvoll.

Zur Herleitung der Fehlerrate F trennt man in Gedanken die Abtastung von der eigentlichen Übertragung. In einem ersten Zeitabschnitt AB ("Abtastung") werden (z. B. beim Interframe-Verfahren) sämtliche Punkte der Vorlage einmal abgetastet und ihre Helligkeitswerte in einen fiktiven Abtastspeicher geschrieben. Im nächsten Zeitabschnitt TR ("Transmission") wird dann ein Teil dieser gespeicher-

ten Information übertragen und frischt den (ebenfalls fiktiven) Wiedergabespeicher des Empfängers auf.

Die Zellen der beiden Speicher sind einander paarweise zugeordnet und bearbeiten jeweils einen Abtastpunkt der Vorlage. Besitzen sie gleiche Zustände (gleichen Inhalt), wird dieser Punkt richtig wiedergegeben, bei unterschiedlichen Zuständen ist das Empfängerbild an dieser Stelle fehlerhaft. Jedes Speicherzellenpaar kann vier Zustände annehmen:

- ☐ WW Sender weiß, Empfänger weiß
- ☐ WS Sender weiß, Empfänger schwarz ("schwarzer Fehler")
- ☐ SW Sender schwarz, Empfänger weiß ("weißer Fehler")
- ☐ SS Sender schwarz, Empfänger schwarz

Die Wahrscheinlichkeiten dieser einzelnen Zustände werden als WW, WS, SW und SS bezeichnet. Damit erhält man folgende Beziehungen:

$$WW + WS + SW + SS = 1 \quad (\text{IV. 3})$$

$$SS + SW = S \quad (\text{Schwarzwert des Originals}) \quad (\text{IV. 4})$$

$$WS + SW = F \quad (\text{nach Definition von F}) \quad (\text{IV. 5})$$

Die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten dieser Zustände am Ende der Zeitabschnitte AB (WWA, WSA, SWA, SSA) und TR (WWT, WST, SWT, SST) und die Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen diesen Zuständen lassen sich in einem "Zustandsdiagramm" (Abb. 4.4) allgemein darstellen. Darin bedeuten die Pfeile Übergänge zwischen den Zuständen, die durch Abtastung beziehungsweise Übertragung hervorgerufen werden. In den späteren Spezialfällen (Abb. 4.9, 4.14, 4.17, 4.21) sind diese Pfeile mit den zugehörigen Übergangswahrscheinlichkeiten beschriftet. Die Numerierung I-1, I, I+1, ... bezieht sich auf die

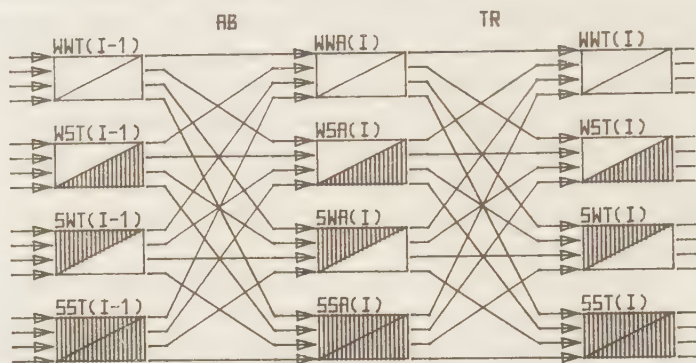


ABB.4.4 ZUSTANDSDIAGRAMM EINER ZWEITON-
ÜBERTRAGUNG MIT FEHLERN

(I) ist hier der Laufindex

einzelnen Bildpunkte; sie hat für die verschiedenen Verfahren unterschiedliche Bedeutung und wird deshalb dort besprochen.

Zur quantitativen Darstellung der Fehlerrate F und ihrer Anteile WS und SW benutzt man eine "Zustandsverteilung", wie sie in Abb. 4.5 schematisch gezeichnet ist. Dazu werden bei der theoretischen Herleitung die Wahrscheinlichkeiten für die erwähnten vier Zustände, bei der späteren Darstellung der Meßergebnisse die Häufigkeiten dieser Zustände analog übereinander aufgetragen. Die zwei unteren Bereiche stellen dann den Schwarzwert S , die beiden mittleren Bereiche die Fehlerrate F dar.

		ORIGINAL	REKONSTRUKT.		
UMGEBUNG		WEISS	WEISS	RICHTIG	WWT
		WEISS	SCHWARZ	FALSCH	WST
SCHRIFT		SCHWARZ	WEISS	FALSCH	SWT
		SCHWARZ	SCHWARZ	RICHTIG	SWT

ABB. 4.5 QUANTITATIVE DARSTELLUNG
FEHLERHAFTER ZWEITONBILDER

Bei der Herleitung der Fehlerrate F wird das Nullwort nicht berücksichtigt. Man rechnet also mit der Näherung $N-1 \approx N$, wodurch die Ergebnisse für F geringfügig zu hoch ausfallen.

4.3 Direktes MPZ-Verfahren

4.3.1 Prinzipielle Wirkungsweise des direkten MPZ-Verfahrens

Beim direkten Verfahren, dem ersten Realisierungsvorschlag einer MPZ-Übertragung, nützt man die Tatsache aus, daß bei den meisten Zweitonbildern ein Ungleichgewicht zwischen schwarzen und weißen Punkten besteht.

Man wertet das Auftreten eines wesentlich selteneren schwarzen Punktes als signifikantes Ereignis, das übertragen werden soll. Eine Übertragungsmeldung bedeutet also, daß die ausgewählte Kamera einen schwarzen Punkt abgetastet hat und der adressierte Monitor folglich einen schwarzen Punkt wiedergeben soll.

Werden jedoch gleichzeitig von mehreren Kameras schwarze Punkte abgetastet, von denen nur einer an den zugehörigen Empfänger gemeldet werden kann, gehen die übrigen Meldungen verloren. Die zugehörigen Empfänger geben also fälschlich weiße Punkte wieder. Es entstehen Lücken in den schwarzen Bereichen der rekonstruierten Bilder, die zum Beispiel die Lesbarkeit von Texten beeinträchtigen können. Die Abbildungen 4.2 und 4.6 B verdeutlichen diese Erscheinung an willkürlich gewählten Beispielen, eine quantitative Aussage enthalten sie noch nicht. In Abb. 4.2 sind die Lücken, die durch die Überlagerung der drei dargestellten Vorlagen entstehen, als "F" markiert. In Abb. 4.6 B ist nur eine der N-1 gleichzeitig übertragenen Vorlagen wiedergegeben. Lücken (gegenüber dem Original der Abb. 4.6 A) entstehen an den Stellen, an denen die Priorität einem der übrigen N-2 Teilnehmer zugeteilt wurde. Sie sind in dieser Darstellung nicht besonders gekennzeichnet. Der Auswahlvorgang, welcher schwarze Punkt im Konfliktfall übertragen werden soll, muß die entstehenden Fehler möglichst gleichmäßig auf alle gemeinsam übertragenen Bilder verteilen.

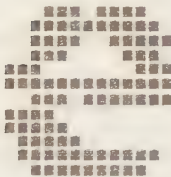


A) ORIGINAL



B) REKONSTRUKTION
OHNE SCHWARZ-
AUFFÜLLUNG

MIT SCHWARZAUFFÜLLUNG: IM REKONSTRUIERTEN BILD
WIRD JEDER WEISSE PUNKT AUFGEFÜLLT, DER...



C)...MINDESTENS
1 HORIZONTALEN
SCHWARZEN
NACHBARN HAT



D)...GENAU
2 HORIZONTALE
SCHWARZE
NACHBARN HAT



E)...MINDESTENS
3
SCHWARZE
NACHBARN HAT



F)...MINDESTENS
4
SCHWARZE
NACHBARN HAT



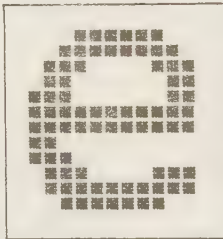
G)...MINDESTENS
5
SCHWARZE
NACHBARN HAT



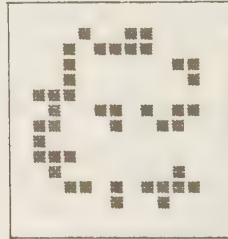
H)...GENAU
2 HORIZONTALE ODER
2 VERTIKALE SCHWARZE
NACHBARN HAT

ABB. 4.6 DIREKTES MPZ-VERFAHREN;
AUSWIRKUNGEN DER FEHLER OHNE UND MIT
VERSCHIEDENEN SCHWARZAUFFÜLLUNGSSTRATEGIEN

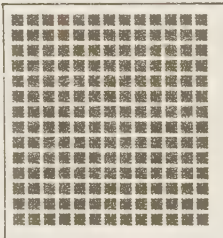
Ein weiterer unangenehmer Effekt, den man als "Neben-sehen" oder "Bildliches Übersprechen" bezeichnet, entsteht dann, wenn die oben erwähnte Voraussetzung nicht erfüllt ist [17] : Ist nämlich bei einer Vorlage das bestehende Ungleichgewicht lokal oder global stark zugunsten der schwarzen Punkte verschoben, werden also beispielsweise größere schwarze Flächen abgetastet,



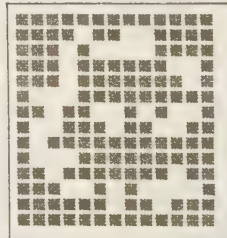
ORIGINAL
SENDER 1



REKONSTRUKTION
EMPFÄNGER 1



ORIGINAL
SENDER 2



REKONSTRUKTION
EMPFÄNGER 2

ABB.4.7 DIREKTES MPZ-VERFAHREN;
EFFEKT DES NEBENSEHENS

erhält man an diesen Stellen des Empfängerbildes eine Information darüber, an welchen Punkten die Priorität einem anderen Teilnehmer zugeteilt wurde. Wenn im ungünstigsten Fall nur zwei Sender gleichzeitig aktiv sind, (Abb. 4.7) von denen z. B. Sender 1 eine Schriftvorlage (oder Strichzeichnung) und Sender 2 eine schwarze Fläche abtastet, so erhält Empfänger 2 an den Stellen schwarze Punkte entzogen, an denen dem Empfänger 1 schwarze Punkte übermittelt werden. Bei gleichmäßiger Prioritätsaufteilung auf beide Kanäle kommen beim Empfänger 1 nur noch 50 % der abgetasteten Punkte an, während Empfänger 2 die gleiche Information als Negativ erhält [17]. Es werden deshalb im folgenden einige Varianten beschrieben, mit denen man diese Nachteile zu beseitigen oder abzuschwächen versucht.

Am naheliegendsten ist der Abhilfeversuch, die Fehler gar nicht erst entstehen zu lassen, indem man alle zunächst unterdrückten Abtastwerte auf zusätzlichen Kanälen überträgt oder zu Zeitpunkten, die für die Übertragung noch nicht genutzt werden. Die Verwendung zusätzlicher Übertragungskanäle gleicher Bandbreite ohne weitere Maßnahmen ist indiskutabel, weil der erzielbare Reduktionsfaktor indirekt proportional zur Zahl der Übertragungskanäle sinkt. Aussichtsreicher erscheint es schon, wenn man gleichzeitig die Zahl der Eingänge proportional erhöht. In diesem Fall hätten also $L \cdot N - 1$ Eingangskanäle Zugriff zu L Übertragungskanälen (Abb. 4.3). Die rechnerische Abschätzung für diesen Fall in Abschnitt 4.3.2 (Abb. 4.11) wird jedoch zeigen, daß die erzielten Verbesserungen zu teuer erkauft werden. Auch der Gedanke, die unterdrückten schwarzen Punkte verzögert an völlig weißen Stellen oder in den Austastlücken zu übertragen, bringt keine deutliche Verbesserung, denn man muß jedem verzögerten Adreßwort Information über den Betrag der Ver-

zögerung beifügen und vermindert dadurch die effektive Reduktion.

Alle diese Verfahren scheitern daran, daß trotz eines beträchtlichen zusätzlichen Schaltungsaufwandes der ohnehin nicht allzu große Reduktionsfaktor noch weiter verkleinert wird.

Eine andere Möglichkeit, mit der man ohne Beeinträchtigung des Reduktionsfaktors die Bildqualität in gewissen Grenzen verbessern und gleichzeitig das Nebensehen reduzieren kann, bietet eine Nachverarbeitung des fehlerhaft übertragenen Bildes im Sinne einer Fehlerkorrektur, wie sie von Stucki [17, 18] vorgeschlagen wird. Man versucht prinzipiell, im Empfängerbild aus der unmittelbaren Umgebung eines weißen Punktes W, der von 8 Nachbarpunkten H, V, D umgeben ist (Abb. 4.8), zu ermitteln, ob es sich um einen "echten" oder um einen "falschen" Weißpunkt handelt. Die als falsch erkannten Punkte werden dann in schwarze umgewandelt. In Abb. 4.6



W: BETRACHTETER PUNKT

H: HORIZONTALE NACHBARN

V: VERTIKALE NACHBARN

D: DIAGONALE NACHBARN

ABB. 4.8 BILDPUNKT MIT 8 UNMITTELBAREN NACHBARPUNKTEN

sind die Auswirkungen verschiedener Bewertungen der Nachbarkpunkte auf ein willkürliches Beispiel veranschaulicht. Bei keinem davon können alle unterdrückten Punkte rekonstruiert werden. Es können aber zum Teil beträchtliche Fehlinterpretationen auftreten, die echte weiße Punkte in schwarze umwandeln und dadurch die örtliche Auflösung reduzieren.

4.3.2 Quantitative Überlegungen zum direkten MPZ-Verfahren

Beim direkten MPZ-Verfahren werden die einzelnen Bildpunkte als statistisch unabhängig betrachtet, d. h. jeder Bildpunkt hat die gleichen Zustandswahrscheinlichkeiten nach der Abtastung WWA, WSA, SWA und SSA, die außerdem

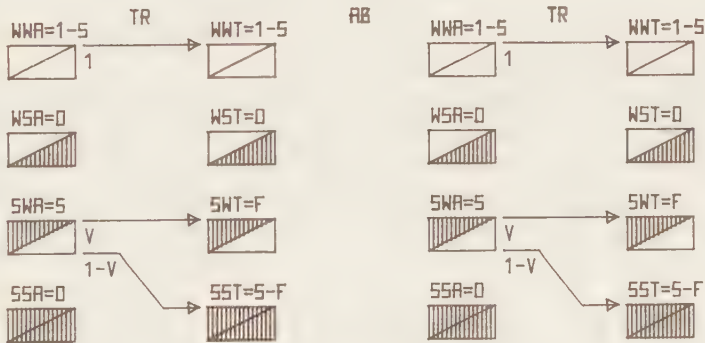


ABB. 4.9 ZUSTANDSDIAGRAMM EINES TEILNEHMERPAARES BEIM DIREKTEN MPZ-VERFAHREN

unabhängig von den Zustandswahrscheinlichkeiten der übrigen Bildpunkte sind. Im Zustandsdiagramm des direkten MPZ-Verfahrens, das in Abb.4.9 für zwei beliebige Bildpunkte dargestellt ist, fehlen deshalb die Pfeile unter AB. Im Empfängerbild können bei diesem Verfahren prinzipiell keine zusätzlichen schwarzen Punkte auftreten; es gilt also

$$WSA = WST = SSA = 0 .$$

Die Fehlerrate

$$F = SWT$$

entsteht deshalb auch nur aus weißen Fehlern.

Setzt man eine zufällige Verteilung der schwarzen Punkte voraus, so kann man die Wahrscheinlichkeit $P(G)$ berechnen, mit der in $L \cdot N$ Vorlagen mit gleichem Schwarzwert S gleichzeitig G schwarze Punkte und $L \cdot N - G$ weiße Punkte abgetastet werden. Man ermittelt dazu zunächst die Einzelwahrscheinlichkeiten $PE(G)$ für alle $2^{L \cdot N}$ möglichen Belegungsfälle eines Abtastintervalls mit schwarzen und weißen Punkten

$$PE(G) = S^G \cdot (1-S)^{L \cdot N - G} \quad (\text{IV. 6})$$

und faßt dann die Belegungsfälle mit gleichem G zusammen zu

$$P(G) = \binom{L \cdot N}{G} \cdot S^G \cdot (1-S)^{L \cdot N - G} \quad (\text{IV. 7})$$

Nach jeder Abtastung können maximal L schwarze Punkte übertragen werden. Waren jedoch $G > L$ schwarze Punkte angemeldet, gehen $G-L$ verloren. Durch Summierung der Verluste aus allen möglichen Fällen erhält man die Fehlerrate

$$F = \frac{1}{L \cdot N} \cdot \sum_{G=L}^{L \cdot N} (G-L) \cdot \binom{L \cdot N}{G} \cdot S^G \cdot (1-S)^{L \cdot N - G} \quad (\text{IV. 8}) .$$

Stucki [17] hat die Abhängigkeit $F(N, S)$ für $L=1$ allgemein untersucht. Abb. 4.10 A zeigt einen Teil der Ergebnisse als Zustandsverteilungen für verschiedene N und für einen Schwarzwert $S=0.12$, der einen typischen Wert für Schriftvorlagen darstellt. Abb. 4.10 B zeigt den zugehörigen Kompressionsfaktor

$$K(N) = \frac{N-1}{\lg N} \quad (\text{IV. 1b}) .$$

Nach Stucki kann man die Qualität einer rekonstruierten Zweittonvorlage als gerade noch annehmbar bezeichnen, wenn etwa 4 % aller Punkte fehlen. Diese Fehlerrate ergibt sich beim direkten MPZ-Verfahren, wenn die empirische Bedingung

$$N \cdot S = 1$$

gilt, im Beispiel der Abb. 4.10 A also für $S=0.12$ und $N=8$. Aus der Abb. 4.10 B kann man den zugehörigen Kompressionsfaktor als

$$K = 2.33$$

ablesen.

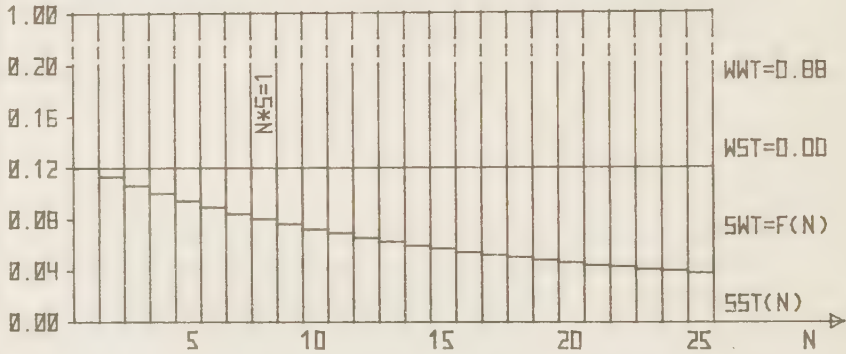


ABB.4.10 A ZUSTANDSVERTEILUNGEN FÜR DAS DIREKTE MPZ-VERFAHREN MIT $L=1$ UND $S=0.12$

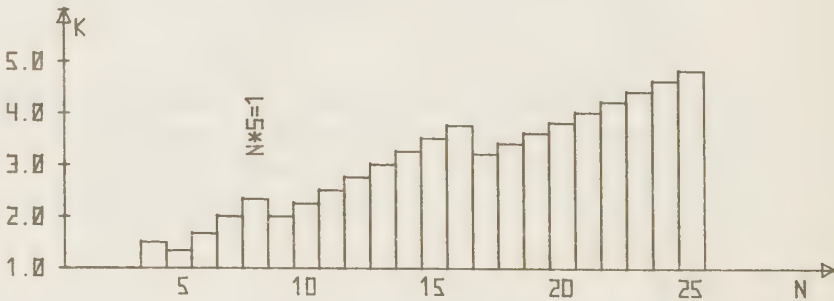


ABB.4.10 B WERTE DES KOMPRESSIONSFAKTORS K BEI $N-1$ GLEICHZEITIG ÜBERTRAGENEN VORLAGEN MIT SCHWARZWERT $S=0.12$

$$K = (N-1) / LD \cdot N$$

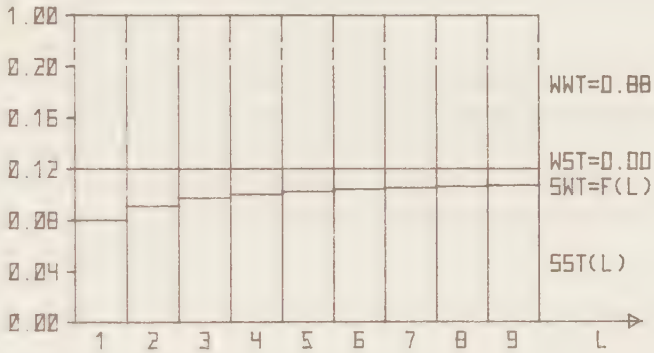


ABB. 4.11 A ZUSTANDSVERTEILUNGEN FÜR DAS
DIREKTE MPZ-VERFAHREN
MIT $N=8$ UND $S=0.12$



ABB. 4.11 B ABHÄNGIGKEIT DES KOMPRESSIONSFAKTORS K
VON DER ANZAHL L DER FÜR $L*N-1$ TEIL-
NEHMER VERFÜGBAREN ÜBERTRAGUNGS-
LEITUNGEN ($N=8$, $S=0.12$)

$$K = (L*N-1) / (L*LD(L*N))$$

In Abb. 4.11 A ist die Abhängigkeit $F(L)$ für $N=8$ und $S=0.12$ wieder durch Zustandsverteilungen dargestellt. Die zugehörigen Kompressionsfaktoren, die in Abb. 4.11 B dargestellt sind, erhält man aus (IV. 2b). Man sieht, daß K bei einer Erhöhung von L drastisch abnimmt, obwohl die Empfängerbilder noch beträchtliche Verfälschungen enthalten. Wenn man zusätzlich noch den erhöhten Schaltungsaufwand berücksichtigt, ist diese Methode der Qualitätsverbesserung durch Mehrfachzugriff für praktische Anwendungen nicht mehr interessant.

4.4 Differenz-MPZ-Verfahren

4.4.1 Prinzipielle Wirkungsweise des Differenz-MPZ-Verfahrens

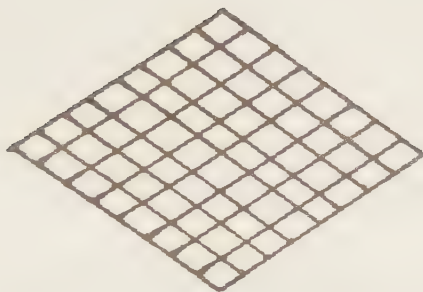
Wie in Abschnitt 3.4 bereits erwähnt, lassen sich Zweitonorlagen durch die Position der Anfangspunkte sämtlicher Runs eindeutig beschreiben. Man gewinnt diese Anfangspunkte dadurch, daß man immer zwei aufeinanderfolgende Bildpunkte vergleicht. Unterscheiden sie sich, bedeutet das den Anfang eines neuen Runs. Das Auftreten solcher Bildpunktdifferenzen wird als signifikant betrachtet, daher die Bezeichnung Differenz-Verfahren.

Mehrere auf diese Weise "differenzierte" Vorlagen können wieder als Eingänge für ein MPZ-System benutzt werden. Die Empfänger können die Originale rekonstruieren, indem sie nach jeder Meldung eines signifikanten Punktes ihren Helligkeitswert ändern und dann bis zur nächsten Meldung beibehalten. Durch diese Differentiation können keine flächenhaften Ansammlungen signifikanter Punkte mehr vorkommen. Das Problem des Nebensehens tritt deshalb beim Differenz-Verfahren nicht auf. Auch hier können selbstverständlich mehrere Kanäle gleichzeitig einen solchen Kantenpunkt zur Übertragung anmelden. Davon kann jeweils einer pro Abtastintervall übertragen werden. Würden die restlichen unterdrückt, ginge den zugehörigen Empfängern ihr Referenzwert für die Helligkeit verloren. Sie würden alle nachfolgenden Schwarz - Weiß - Übergänge als Weiß - Schwarz - Übergänge interpretieren und umgekehrt. Ein Ausweg besteht darin, daß sich die zunächst unterdrückten Anforderungen so lange bei den folgenden Prioritätsentscheidungen mitbewerben dürfen, bis ihnen die Priorität zugeteilt wird, oder bis sie

durch eine entgegengesetzte Änderung im Original wieder gelöscht werden. Verzichtet man darauf, zusätzliche Information über die Dauer der entstandenen Verzögerung beizufügen, kann der Empfänger nicht zwischen verzögerten und unverzögerten Kantenpunkten unterscheiden. Die typischen Fehler, die dadurch entstehen, machen sich als Ausfransen der Kanten bemerkbar (Abb.4.12 Mitte); es entstehen weiße "Fahnen" mit einer Dauer von einigen Bildpunkten an Hell-Dunkel-Kanten (Weiß-Schwarz-Übergänge) und gleich viele schwarze "Fahnen" an Dunkel-Hell-Kanten (Schwarz-Weiß-Übergänge).

Bei Untersuchungen über die subjektive Bildqualität gestörter Zweittonvorlagen [19] hat man festgestellt, daß bei schwarzer Schrift auf weißem Grund zusätzliche schwarze Punkte in der weißen Umgebung wesentlich stärker stören als fehlende schwarze Punkte innerhalb der Schriftzeichenumrisse. Speziell beim Differenz-MPZ-Verfahren bedeutet das, daß sich die verspätete Übertragung einer Dunkel-Hell-Kante viel gravierender bemerkbar macht als die verspätete Übertragung einer Hell-Dunkel-Kante. Man kann deshalb das Verfahren beträchtlich verbessern, wenn man zwei Prioritätsklassen für die verschiedenen Übergänge bildet und Hell-Dunkel-Kanten erst dann überträgt, wenn alle aktuellen und verzögerten Dunkel-Hell-Kanten abgearbeitet sind. Die absolute Anzahl der fehlerhaften Punkte bleibt dadurch zwar etwa gleich, die stärker störenden schwarzen Fehler werden aber auf Kosten der weniger störenden weißen Fehler reduziert (Abb. 4.13).

Durch die Differentiation wird dem Bild Redundanz entzogen. Es ist deshalb anfälliger gegen Fehler auf dem Übertragungskanal, die eine Umleitung der gemeldeten Helligkeitsänderungen vom adressierten in einen anderen Empfänger bewirken. Eine verfälschte Adresse löst in



ORIGINAL ZU ABB.4.12 UND ABB.4.13

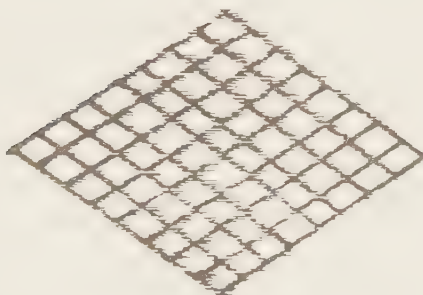


ABB.4.12 DIFFERENZ-MPZ; TYPISCHE FEHLER
(VARIANTE 1: BEIDE KANTENARTEN GLEICHBERECHTIGT)

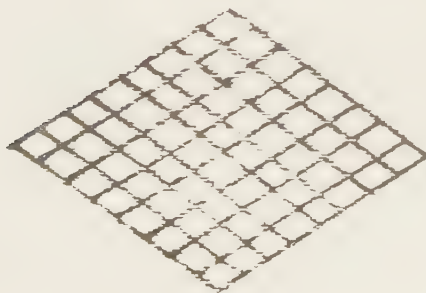


ABB.4.13 DIFFERENZ-MPZ; TYPISCHE FEHLER
(VARIANTE 2: DUNKEL-HELL KANTEN BEVORZUGT)

zwei Empfängern die Umkehrung aller folgenden Heiligkeitsswerte aus, die bei beiden solange andauert, bis weitere Übertragungsfehler den entsprechenden Empfängerinhalt noch einmal zu oft oder einmal zu wenig ändern. Überträgt man jedoch in jeder Zeilenaustastlücke einen absoluten Stützwert, wird die Wirkung eines Übertragungsfehlers auf höchstens eine Zeile beschränkt.

4.4.2 Quantitative Überlegungen zum Differenz-MPZ-Verfahren

Der Kompressionsfaktor K hängt von der Anzahl der Teilnehmer $L \cdot N - 1$ nach der gleichen Beziehung ab wie beim direkten Verfahren. Falls nicht ausdrücklich anders angegeben, gelten sämtliche Überlegungen und Ergebnisse des Differenz-Verfahrens für $L=1$, $N=8$ und damit für $K=2.33$.

Ziel der Untersuchung ist eine quantitative Bestimmung der Abhängigkeit der Fehlerrate F und ihrer einzelnen Anteile WST und SWT von gewissen Parametern der Vorlage, hier insbesondere von N , S und der mittleren Runlänge RLS für schwarze Runs. Zur theoretischen Abschätzung der Wahrscheinlichkeiten SWT für weiße Fehler und WST für schwarze Fehler benutzt man das Zustandsdiagramm des Differenz-MPZ-Verfahrens aus Abb. 4.14. Wegen der verzögerten Wiederanmeldung zunächst unterdrückter Kantenpunkte muß man auch die statistischen Abhängigkeiten von benachbarten Punkten einer Zeile berücksichtigen, was durch die Pfeile unter AB zum Ausdruck kommt. Im Diagramm sind als Ausschnitt die Beziehungen zweier solcher Punkte 1 und 2 dargestellt. Die Pfeile sind mit den Wahrscheinlichkeiten beschriftet, mit denen die einzelnen Zustände ineinander übergehen, und die Kästen mit den Wahrscheinlichkeiten, mit denen die Zustände (WW ,

WS, SW, SS) nach den Vorgängen AB und TR auftreten. Die Pfeile lassen sich auch als Multiplikationsoperatoren auffassen; es gilt zum Beispiel:

$$WST1 = (1-R) \cdot WSA1$$

Treffen mehrere Pfeile auf einen Kasten, werden die Teilprodukte addiert, zum Beispiel:

$$WWT1 = 1 \cdot WWA1 + R \cdot WSA1$$

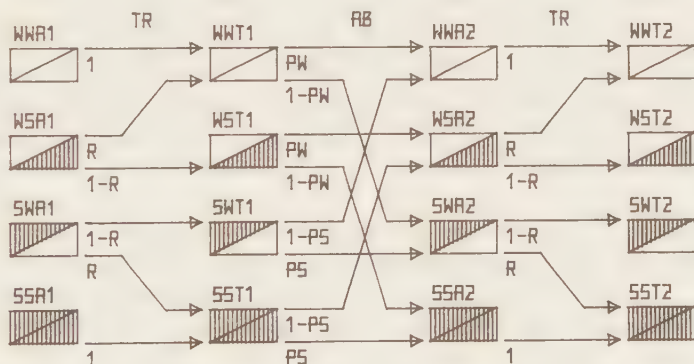


ABB.4.14 ZUSTANDSDIAGRAMM EINES TEILNEHMERPAARES
BEIM DIFFERENZ-MPZ-VERFAHREN
(VARIANTE 1: BEIDE KANTENARTEN GLEICHBERECHTIGT)

Nun zur Beschreibung des Vorgangs, der durch das Diagramm veranschaulicht werden soll: Wenn nach einer Abtastung AB der betreffende Bildpunkt in Sender und Empfänger nicht übereinstimmt, wird Übertragungsbedarf gemeldet. Die Wahrscheinlichkeit dafür soll FA genannt werden und beträgt

$$FA = WSA + SWA \quad (IV.9) ,$$

wobei WSA Dunkel-Hell-Kanten und SWA Hell-Dunkel-Kanten anmeldet. Mit der Wahrscheinlichkeit R wird diese Anmeldung befriedigt und der Empfängerpunkt nach der Übertragung TR an den Senderpunkt angeglichen. Der Rest bleibt als Fehlerrate

$$FT = WST + SWT = (1-R) \cdot (WSA + SWA) \quad (IV.10)$$

stehen und wird bei der Abtastung des nächsten Punktes wieder mit angemeldet. Für die Vorgänge bei der Abtastung AB des Punktes 2 soll zunächst eine Fallunterscheidung getroffen werden:

- 1.Fall: Der Inhalt der Speicherzellen für Punkt 1 in Sender und Empfänger stimmen nach der Übertragung überein (keine verzögerte Kante). Für diesen Fall gelten die Übergänge $WWT1 \rightarrow WWA2$ und $SST1 \rightarrow SSA2$.
- 2.Fall: Die Punkte 1 in Sender und Empfänger stimmen nach der Übertragung ebenfalls überein. Punkt 1 und Punkt 2 des Senders sind jedoch verschieden (neue Kantenanmeldung). Es gelten die Übergänge $WWT1 \rightarrow SWA2$ und $SST1 \rightarrow WSA2$, die zum neuen Übertragungsbedarf beitragen.
- 3.Fall: Die Punkte 1 in Sender und Empfänger unterscheiden sich nach der Übertragung (verzögerte Kante). Punkt 1 und Punkt 2 des Senders sind gleich (keine

neue Kante). Die Übergänge $WST1 \rightarrow WSA2$ und $SWT1 \rightarrow SWA2$ tragen ebenfalls zum neuen Bedarf bei.

4. Fall: Die Punkte 1 in Sender und Empfänger unterscheiden sich nach der Übertragung (verzögerte Kante). Punkt 1 und Punkt 2 des Senders sind verschieden (neue Kante). Der Bedarf der beiden entgegengesetzten Kanten (Übergänge $WST1 \rightarrow SSA2$ und $SWT1 \rightarrow WWA2$) löscht sich aus.

Durch diese Auslöschung erreichen der Übertragungsbedarf FA und die Übertragungswahrscheinlichkeit R in ausreichendem Abstand vom linken Bildrand konstante Mittelwerte. Zur Berechnung dieser Mittelwerte darf man folgende Zustandswahrscheinlichkeiten gleichsetzen.

$$\begin{array}{ll} WWA1 = WWA2 = WWA & WWT1 = WWT2 = WWT \\ WSA1 = WSA2 = WSA & WST1 = WST2 = WST \\ SWA1 = SWA2 = SWA & SWT1 = SWT2 = SWT \\ SSA1 = SSA2 = SSA & SST1 = SST2 = SST \end{array}$$

Aus dem Zustandsdiagramm kann man dann folgende Bestimmungsgleichungen ablesen:

$$\begin{array}{ll} WWA = PW \cdot WWA + PW \cdot R \cdot WSA + (1-PS) \cdot (1-R) \cdot SWA & (IV.11) \\ WSA = PW \cdot (1-R) \cdot WSA + (1-PS) \cdot R \cdot SWA + (1-PS) \cdot SSA & (IV.12) \\ SWA = (1-PW) \cdot WWA + (1-PW) \cdot R \cdot WSA + PS \cdot (1-R) \cdot SWA & (IV.13) \\ SSA = (1-PW) \cdot (1-R) \cdot WSA + PS \cdot R \cdot SWA + PS \cdot SSA & (IV.14) \end{array}$$

Außerdem gilt nach (IV.4)

$$SWA + SSA = S \quad (IV.15)$$

Aus (IV.11-IV.15) erhält man durch Einsetzen und Umformen:

$$WSA = SWA = \frac{S \cdot (1-PS)}{1 + (1-R) \cdot (1-PS-PW)} \quad (IV. 16,17) .$$

Eine weitere Beziehung zwischen R und FA erhält man durch folgende Überlegung: In Abb. 4.15 sind (für N=4) die verschiedenen Wahrscheinlichkeiten P(G) aus (IV.7) übereinander und G-mal nebeneinander schematisch aufgetragen. Die gesamte Fläche ist proportional zum Übertragungs-

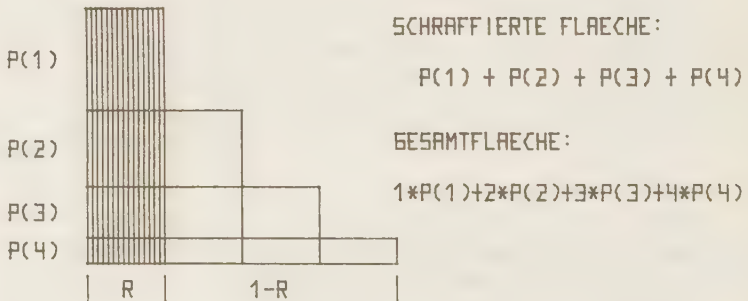


ABB.4.15 ZUR HERLEITUNG DER ÜBER-
 TRAGUNGSWAHRSCHEINLICHKEIT R

bedarf FA. Bei Mehrfachbedarf kann immer nur ein Punkt übertragen werden, insgesamt also die schraffierte Fläche R:

$$R = \frac{\text{schraffierte Fläche}}{\text{Gesamtfläche}} = \frac{\sum_{G=1}^N P(G)}{\sum_{G=1}^N G \cdot P(G)} \quad (\text{für beliebige } N) .$$

In der Formel für $P(G)$ (IV.7) ersetzt man S durch FA und beschränkt die Untersuchung außerdem auf $L=1$.
Damit erhält man

$$R = \frac{\sum_{G=1}^N \binom{N}{G} \cdot FA^G \cdot (1-FA)^{N-G}}{\sum_{G=1}^N G \cdot \binom{N}{G} \cdot FA^G \cdot (1-FA)^{N-G}} \quad (IV.18) .$$

Die Übergangswahrscheinlichkeiten PW und PS hängen ab vom Schwarzanteil S der Originalvorlage (Anzahl der schwarzen Punkte) und vom Schwarzanteil SD der differenzierten Vorlage (Anzahl der Kantenpunkte). S und SD sind über die mittlere schwarze Runlänge RLS miteinander verknüpft:

$$SD = \frac{2 \cdot S}{RLS} \quad (IV.19) .$$

Die bedingte Wahrscheinlichkeit PS , daß auf einen schwarzen Punkt ein weiterer schwarzer Punkt folgt, beträgt

$$PS = \frac{S - SD/2}{S} \quad \left(\frac{\text{günstige Fälle}}{\text{mögliche Fälle}} \right) \quad (IV.20) .$$

und die bedingte Wahrscheinlichkeit PW , daß auf einen weißen Punkt ein weiterer weißer Punkt folgt,

$$PW = \frac{(1-S) - SD/2}{(1-S)} \quad (IV. 21) .$$

Für eine typische Zweitontvorlage mit Schwarzwert $S=0.12$ und einer mittleren schwarzen Runlänge $RLS=2.0$ gilt $SD=S=0.12$ und man erhält als Zahlenwerte $PS=0.5$ und $PW=0.932$. Setzt man die Parameter N , S und SD in die Beziehungen ein, so kann man durch Iteration ein Wertetripel R , WSA , SWA bestimmen, das diese Beziehungen erfüllt. Die Fehlerwahrscheinlichkeit und ihre Anteile ergeben sich dann aus dem Zustandsdiagramm als

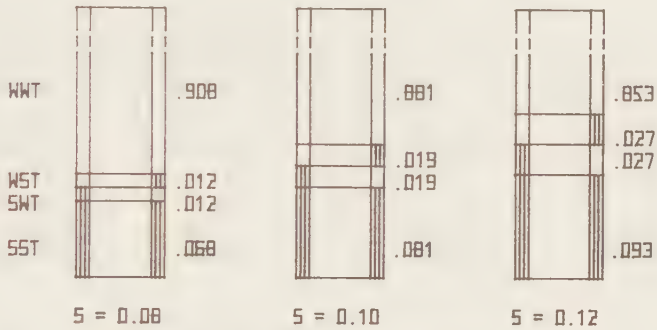
$$FT = (1-R) \cdot FA \quad (IV. 22)$$

$$WST = (1-R) \cdot WSA \quad (IV. 23)$$

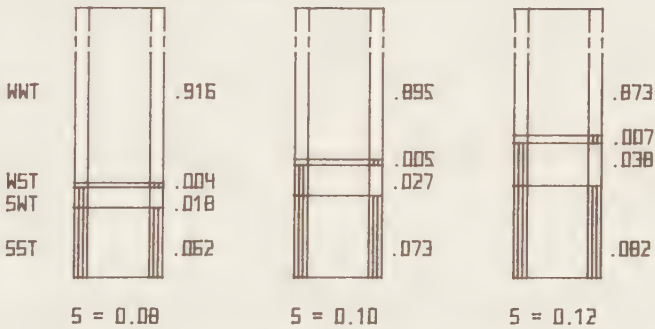
$$SWT = (1-R) \cdot SWA \quad (IV. 24)$$

Die Ergebnisse dieser Abschätzung sind für $N=8$ und verschiedene S als Zustandsverteilungen in Abb.4.16 A dargestellt. Sie gelten für die Variante 1 des Differenz-Verfahrens, bei der beide Kantenarten bei der Übertragung gleich häufig bedient werden.

Bei der Variante 2 werden die Dunkel-Hell-Kanten bevorzugt bedient. Erst wenn kein Übertragungsbedarf der Dunkel-Hell-Kanten mehr vorliegt, werden auch Hell-Dunkel-Kanten übertragen. Die schwarzen Fehler werden dadurch auf Kosten der weißen Fehler vermindert. Zur Berechnung beschriftet man den von WSA ausgehenden Pfeil mit RW und den von SWA ausgehenden Pfeil mit RS (entsprechend $1-RW$, $1-RS$) (Abb. 4.17).



A) VARIANTE 1: GLEICHBERECHTIGTE KANTEN



B) VARIANTE 2: BEVORZUGTE DUNKEL-HELL-KANTEN

ABB.4.16 THEORETISCHE ABSCHÄTZUNG DER FEHLERHAUFIGKEIT
BEIM DIFFERENZ-MPZ-VERFAHREN FÜR N=8 QUELLEN

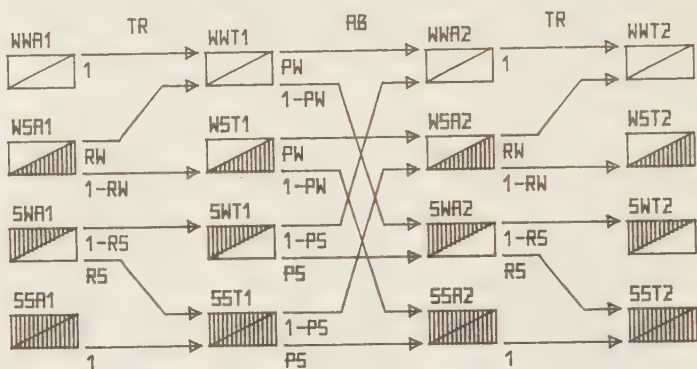


ABB.4.17 ZUSTANDSDIAGRAMM EINES TEILNEHMERPAARES
BEIM DIFFERENZ-MPZ-VERFAHREN
(VARIANTE 2: DUNKEL-HELL-KANTEN BEVORZUGT)

Das Gleichungssystem (IV.11-IV.14) erhält dann folgende Form:

$$\begin{aligned} WWA &= PW \cdot WWA + PW \cdot RW \cdot WSA + (1-PS) \cdot (1-RS) \cdot SWA & (IV.25) \\ WSA &= PW \cdot (1-RW) \cdot WSA + (1-PS) \cdot RS \cdot SWA + (1-PS) \cdot SSA & (IV.26) \\ SWA &= (1-PW) \cdot WWA + (1-PW) \cdot RW \cdot WSA + PS \cdot (1-RS) \cdot SWA & (IV.27) \\ SSA &= (1-PW) \cdot (1-RW) \cdot WSA + PS \cdot RS \cdot SWA + PS \cdot SSA & (IV.28) \end{aligned}$$

Außerdem gilt wieder:

$$SWA + SSA = S \quad (IV.29) .$$

Durch Einsetzen und Umformen erhält man:

$$WSA = \frac{S \cdot (1-PS) \cdot RS}{RS + RW - RW \cdot PS - RS \cdot PW - RS \cdot RW \cdot (1-PS-PW)} \quad (IV.30)$$

und

$$SWA = \frac{RW}{RS} \cdot WSA \quad (IV.31) .$$

Zur Bestimmung von RW , das die Wahrscheinlichkeit angibt, mit der die bevorzugten Dunkel-Hell-Kanten übertragen werden, ersetzt man in Beziehung (IV.18) FA durch WSA , den Anteil, der von den Dunkel-Hell-Kanten als Bedarf angemeldet wird:

$$RW = \frac{\sum_{G=1}^N \binom{N}{G} \cdot WSA^G \cdot (1-WSA)^{N-G}}{\sum_{G=1}^N G \cdot \binom{N}{G} \cdot WSA^G \cdot (1-WSA)^{N-G}} \quad (IV.32) .$$

Anmeldungen von Hell-Dunkel-Kanten, die mit der Wahrscheinlichkeit SWA auftreten, können nur übertragen werden, wenn keine Anmeldungen von Dunkel-Hell-Kanten vorliegen. Die Wahrscheinlichkeit hierfür beträgt:

$$P(0) = \binom{N}{0} \cdot WSA^0 \cdot (1-WSA)^{N-0} = (1-WSA)^N .$$

Außerdem können wieder mehrere Hell-Dunkel-Kantenanmeldungen gleichzeitig auftreten, von denen nur ein Teil übertragen werden kann. Die Wahrscheinlichkeit für die Übertragung einer SWA-Anmeldung (Hell-Dunkel-Kante) beträgt also:

$$RS = (1-WSA)^N \cdot \frac{\sum_{G=1}^N \binom{N}{G} \cdot SWA^G \cdot (1-SWA)^{N-G}}{\sum_{G=1}^N G \cdot \binom{N}{G} \cdot SWA^G \cdot (1-SWA)^{N-G}} \quad (IV.33) .$$

Aus (IV.30-IV.33) kann man dann ähnlich wie bei Variante 1 durch Iteration WSA, SWA, RS und RW bestimmen. Die Anteile der Fehlerrate ergeben sich dann als:

$$WST = (1-RS) \cdot WSA \quad (IV.34)$$

$$SWT = (1-RW) \cdot SWA \quad (IV.35) .$$

Die Ergebnisse für die Variante 2 (und für die gleichen Parameter wie bei Variante 1) sind in Abb.4.16 B als Zustandsverteilungen dargestellt.

Die Fehlerrate kann beim Differenz-Verfahren abhängig von der mittleren schwarzen Runlänge RLS größer oder kleiner sein als beim direkten Verfahren. Im dargestellten Beispiel (RLS = 2.0) ist sie etwas größer. Ein störender Nebenseffekt tritt nicht mehr auf. Berücksichtigt man jedoch, daß schwarze Fehler subjektiv stärker stören als weiße Fehler, ergeben sich insgesamt kaum Verbesserungen gegenüber dem direkten Verfahren.

4.5 Interframe - MPZ - Verfahren

4.5.1 Prinzipielle Wirkungsweise des Interframe - MPZ - Verfahrens

Die verfügbare zeitliche Auflösung des Fernsehsystems wird bei der Übertragung von Zweittonvorlagen meist sehr schlecht ausgenutzt. Kurze Zeiten mit hoher Bewegungsaktivität und lange Zeiten mit relativ wenig oder überhaupt keiner Bewegung folgen abwechselnd aufeinander. Besonders in den ruhigen Perioden ist die Korrelation zeitlich benachbarter Bildpunkte sehr hoch und verheißt große Einsparungsmöglichkeiten, wenn es gelingt, den Datenfluß mit tragbarem Aufwand zu glätten. Um bei der Zeitmitteilung eine entsprechende Glättung zusammen mit fehlerfreier Übertragung zu erreichen, müßte man komplette bewegte Szenen speichern, um sie in anschließenden ruhigen Zeitabschnitten langsamer übertragen zu können. Mit der Größe des dafür benötigten Speichers wächst außer dem ungeheuren Aufwand auch die konstante Verzögerungszeit zwischen Abtastung und Wiedergabe, die sich bei Zweirichtungskommunikation sehr störend auswirken kann. Es bietet sich deshalb die Verwendung eines MPZ-Verfahrens an, mit dem man hier sehr viele Teilnehmer für eine Scharmittlung zusammenfassen kann, und mit dem sich deshalb hohe Reduktionsfaktoren erzielen lassen.

Das Interframe-MPZ-Verfahren arbeitet nach dem gleichen Prinzip wie das Differenz-MPZ-Verfahren aus Abschnitt 4.4. Statt der Differenzen örtlich benachbarter Bildpunkte werden lediglich die Differenzen zeitlich benachbarter Bildpunkte, also die Anfangspunkte zeitlicher Runs, als signifikant betrachtet. Ihr Auftreten wird dem betreffenden Empfänger mitgeteilt, der daraufhin den Helligkeitswert des entsprechenden Bildpunktes umschaltet. Zur Entdeckung

von Bildpunktänderungen muß man jetzt aufeinanderfolgende Vollbilder miteinander vergleichen und benötigt deshalb einen Vollbildspeicher in der Sendeeinrichtung jedes Teilnehmers. Auch hier dürfen Bedarfsanmeldungen, die nicht sofort befriedigt werden können, nicht völlig unterdrückt werden. Man speichert sie als Referenzwert im selben Vollbildspeicher solange, bis sie übertragen oder rückgängig gemacht werden. Auch die Empfangseinrichtung jedes Teilnehmers benötigt einen Vollbildspeicher zur Rekonstruktion des Originals.

Wesentlich anders als beim Differenz-Verfahren wirken sich hier die systembedingten Verfälschungen aus, die dadurch entstehen, daß die zunächst unterdrückten Änderungsmeldungen mit zeitlicher Verzögerung übertragen werden. Das System reagiert ähnlich wie ein zeitlicher Tiefpaß mit einer Exponentialfunktion als Sprungantwort, deren Zeitkonstante stark von der Bewegungsaktivität der übrigen Teilnehmer abhängt. Stehende Bilder werden deshalb ohne systembedingte Fehler rekonstruiert, das Problem des Nebensehens tritt nicht auf.

Wenn nicht geeignete Maßnahmen getroffen werden (s. Kap. 7.2), können sich Übertragungsfehler unbeschränkt fortpflanzen, wie bei jedem System, bei dem differentielle Änderungen übertragen werden. Außerdem akkumulieren sie sich beim Interframe-System, da es sehr unwahrscheinlich ist, daß zwei Übertragungsfehler den gleichen Bildpunkt betreffen und sich so in ihrer Wirkung aufheben.

4.5.2 Ziel der Untersuchung

Bei der Planung eines Interframe-Übertragungssystems für Zweitvorlagen ist man an zwei Stellen auf Schätzungen angewiesen: Bevor man Erfahrungen mit einem installierten

System sammeln kann, ist erstens die Bewegungsstatistik der gesendeten Vorlagen weitgehend unbekannt, zweitens weiß man nicht, welche Mindestqualität von den potentiellen Anwendern gefordert wird. Es soll deshalb quantitativ dargestellt werden, welche Übertragungsqualität sich mit verschiedenen Systemvarianten und mit verschiedenen Annahmen für das statistische Verhalten der Sender erzielen läßt.

Die Eigenschaften des Systems lassen sich quantitativ beschreiben durch den Kompressionsfaktor K , oder durch die Anzahl $N-1$ der Teilnehmerpaare. Zwischen diesen beiden Größen besteht wieder die bereits bekannte Beziehung

$$K = \frac{N-1}{\lg N} \quad (\text{IV.1b}) .$$

Von den statistischen Eigenschaften der Eingangssignale spielen beim Interframe-Verfahren vor allem der Schwarzwert und die Schwarzverteilung der ruhenden Vorlage sowie Richtung und Geschwindigkeit der Bewegung eine Rolle. Setzt man voraus, daß die schwarzen Punkte der Vorlage annähernd zufällig verteilt sind, kann man Schwarzverteilung und Bewegung zu einem Bewegungswert M zusammenfassen, der angibt, welcher Anteil der Bildpunkte zwischen aufeinanderfolgenden Vollbildern die Helligkeit wechselt.

Die Übertragungsqualität Q hängt dann ab von den Systemeigenschaften (Anzahl der Teilnehmer)

$$\underline{Q(N) \text{ oder } Q(K)} \quad \underline{\text{für } M = \text{konstant}}$$

und von den Bewegungswerten, die die statistischen Eigenschaften der Vorlagen und das Verhalten der Teilnehmer zusammenfassen.

$$\underline{Q(M)} \quad \underline{\text{für } N = \text{konstant}}$$

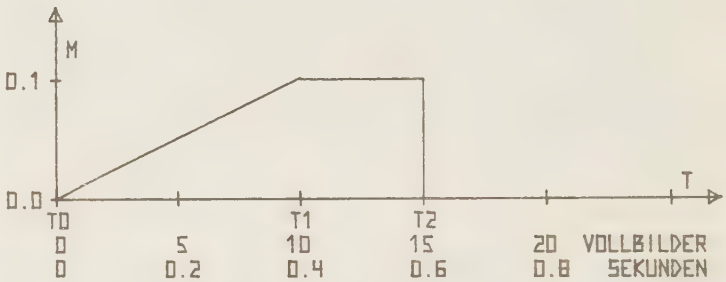


ABB.4.18 A DARSTELLUNG DES BEWEGUNGSVERLAUFS EINER ZWEITONTVORLAGE

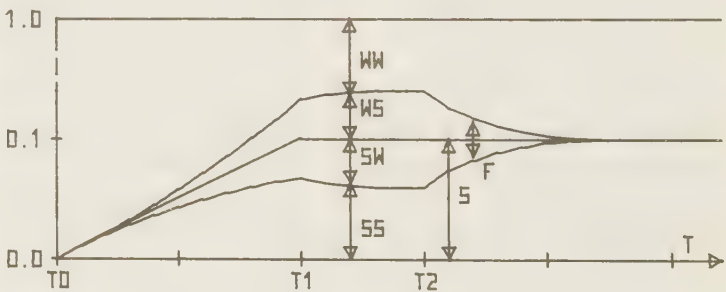


ABB.4.18 B ZUSTANDSVERTEILUNG MIT ZEITLICHER ABHÄNGIGKEIT EINES TEILNEHMERPAARES BEIM INTERFRAME-MPZ-VERFAHREN

Als Beispiel zeigt Abb. 4.18 A den Bewegungswert $M(T)$ einer Vorlage, die vom Zeitpunkt T_0 an unter die Abtasteinrichtung geschoben wird. Bei T_1 ist die gesamte Vorlage im Bildfeld, bei T_2 wird die Bewegung beendet.

Die Übertragungsqualität läßt sich quantitativ durch die bereits in Kap. 4.2 beschriebene Zustandsverteilung darstellen, wenn man zusätzlich noch die zeitliche Abhängigkeit erfaßt (Abb. 4.18B). Diese objektive Darstellung wird bei allen folgenden Untersuchungen verwendet.

4.5.3 Quantitative Überlegungen zum Interframe-MPZ-Verfahren

Als Ausgangspunkt für die Untersuchungen nimmt man folgen-

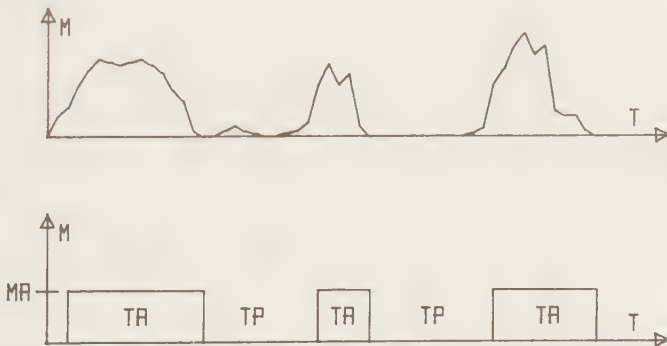


ABB.4.19 SCHEMATISCHE AUFEINANDERFOLGE VON BEWEGTEN ABSCHNITTEN TA UND PAUSEN TP EINER ZWEITONVORLAGE

de typische Situation an: Alle N Teilnehmer übertragen Zweitenvorlagen, bei denen Zeitabschnitte TA mit Bewegung und Pausen TP abwechseln (Abb. 4.19). Definiert man

$$A = \frac{\overline{TA}}{\overline{TA} + \overline{TP}}$$

als Aktivität des einzelnen Teilnehmers, dann sind durchschnittlich immer

$$NA = N \cdot A$$

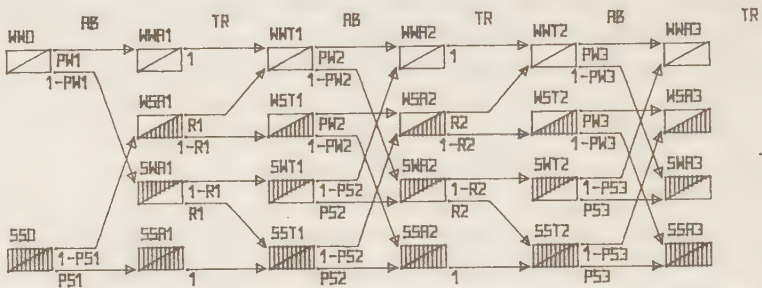
Teilnehmer aktiv. Ohne Einschränkung der Allgemeingültigkeit kann man weiter annehmen, daß immer die gleichen Teilnehmer aktiv sind und den konstanten Bewegungswert MA besitzen. Die Angaben $MA = 0.1$ und $NA = 16$ bedeuten beispielsweise, daß ständig 16 Teilnehmer 10 % ihrer

NA	K =	3.75	6.20	10.5	18.1	31.9
	N =	16	32	64	128	256
A = 1.0		16	32	64		
A = 0.5		8	16	32	64	
A = 0.25		4	8	16	32	64
A = 0.125			4	8	16	32

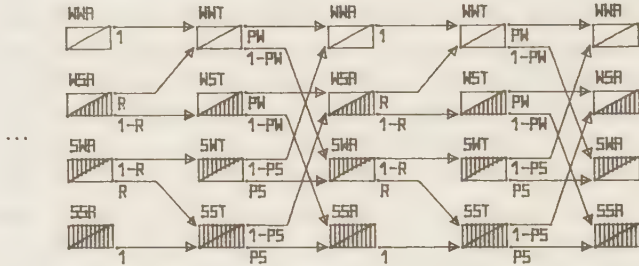
TAB.4.20 ANZAHL GLEICHZEITIG AKTIVER QUELLEN NA

Bildfläche wechseln. Bei einer durchschnittlichen Aktivität $A = 0.25$ könnte man die Qualität, die man für dieses Wertepaar MA, NA berechnet oder mißt, mit insgesamt $N = 64$ Teilnehmerpaaren und dem zugehörigen Kompressionsfaktor $K = 10.5$ erreichen. Tab. 4.20 zeigt allgemein, welche Kombinationen von N und A jeweils gleiches NA und damit etwa gleiche Qualität ergeben.

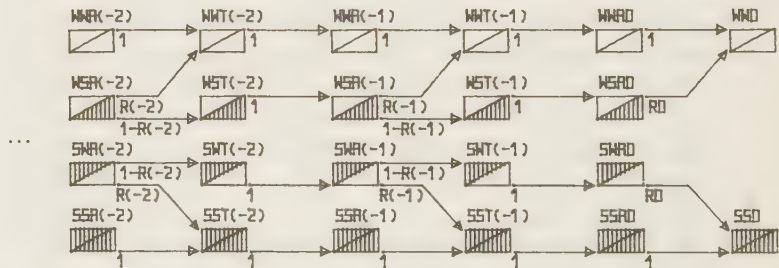
In Abb. 4.21 ist das Zustandsdiagramm für einen ortsfesten Punkt beim Interframe-Verfahren in zeitlicher Abhängigkeit dargestellt; die Numerierung bezieht sich auf aufeinanderfolgende Vollbilder. Abb. 4.21 zeigt den Anfang einer Bewegung. Eine Vorlage, die längere Zeit nicht bewegt wurde, stimmt bei Sender und Empfänger in allen Punkten überein (WWO, SSO). Bewegt man nun diese Vorlage, erhält man nach der nächsten Abtastung den Übertragungsbedarf $WSA1 + SWA1$ entsprechend dem Anteil der Punkte, bei dem durch die Verschiebung der Vorlage die Helligkeit gewechselt wurde. Ein Teil $R1$ dieses Bedarfs wird dann übertragen, der Rest $WST1 + SWT1$ bleibt als Fehler stehen und ergibt zusammen mit den Punkten der Vorlage, die sich bis zur nächsten Abtastung geändert haben, den neuen (im allgemeinen höheren) Übertragungsbedarf $WSA2 + SWA2$. Der Vorgang wiederholt sich so oft, bis sich ein Gleichgewichtszustand $WSA + SWA$ des Übertragungsbedarfs und damit auch ein Gleichgewichtszustand der Fehlerrate $FT = WST + SWT$ einstellt (Abb. 4.21B). Das Gleichgewicht entsteht ähnlich wie beim Differenz-Verfahren dadurch, daß sich neue Übertragungsanmeldungen und alte noch nicht übertragene gegenseitig aufheben. Die Ähnlichkeit kommt auch durch die weitgehende Übereinstimmung der Darstellung Abb. 4.21B mit der Abb. 4.14 zum Ausdruck. Beim Differenz-Verfahren beziehen sich jedoch aufeinanderfolgende Abtast-Übertragungs-Zyklen AB, TR auf örtlich benachbarte Punkte, während hier beim Interframe-Verfahren zeitliche Änderungen eines orts-



A)



B)



C)

ABB. 4.21

ZUSTANDSDIAGRAMM EINES TEILNEHMERPAARES
BEIM INTERFRAME-MPZ-VERFAHREN

A) BEWEGUNGSANFANG (ANLAUFPHASE)

B) GLEICHFORMIGE BEWEGUNG (STATIONÄRER ZUSTAND)

C) BEWEGUNGSENDE (ABKLINGPHASE)

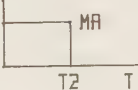
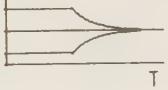
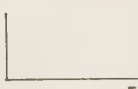
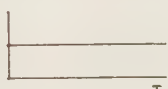
festen Punktes dargestellt sind. Abb. 4.21C zeigt schließlich den Rekonstruktionsvorgang nach einem sprunghaften Ende der Bewegung. Der Übertragungsbedarf $WSA[-I]+SWA[-I]$ wird in $I+1$ Übertragungszyklen abgebaut, bis die Bilder in Sender und Empfänger wieder gleich sind (WWO, SSO). Durch wiederholte Abtastung einer unbewegten Vorlage kann kein neuer Bedarf entstehen, die Übergänge unter AB haben deshalb alle die Wahrscheinlichkeit 1.

Für die Qualität des Verfahrens ist ausschlaggebend, wie schnell das Empfängerbild nach Beendigung der Bewegung der Vorlage rekonstruiert wird. Man erhält eine umso bessere Qualität Q , je kleiner die Fehlerfläche aus Abb.4.18B wird:

$$Q \sim \frac{1}{\int_{T_2}^{\infty} F(T) dT} .$$

Der Verlauf der beiden Kurven, die diese Fläche begrenzen, soll jetzt hergeleitet werden.

Ein typischer Fall, der sich analytisch behandeln läßt, aber trotzdem aussagekräftig genug ist, läßt sich folgendermaßen beschreiben: Man hat zunächst $N-NA$ Quellen ohne Bewegung und NA Quellen mit dem konstanten Bewegungswert MA . Bei einer der aktiven Quellen (Quelle I) wird die Bewegung im Zeitpunkt T_2 plötzlich beendet. Für diesen Fall und für diese Quelle werden die folgenden theoretischen Untersuchungen (und die experimentellen im Kapitel 6) durchgeführt. In Tab. 4.22 sind die Bewegungswerte und die Zustandsverteilungen der beteiligten Quellen allgemein dargestellt.

QUELLE(N)	BEWEGUNGSWERT	ZUSTANDSVERTEILUNG
I	$MI(T) = MA \quad (T < T_2)$ $MI(T) = 0 \quad (T > T_2)$ 	
1...NR(I)	$M = MA$ 	
NR+1...N	$M = 0$ 	

TAB.4.22 BEWEGUNGSWERTE DER VERWENDETEN QUELLEN

Zur Berechnung der mittleren Fehlerrate bei gleichförmiger Bewegung läßt sich dieselbe Methode anwenden wie beim Differenz-Verfahren, wenn man in die Beziehungen (IV.16-IV.18) die entsprechenden Parameter einsetzt. Zur Herleitung von PS und PW zeigt Abb.4.23 links schematisch ein Vollbild mit Schwarzwert S. Im nächsten Vollbild (rechts) ändert sich der Anteil MA aller Punkte (nach Definition für MA). Bleibt dabei S konstant, setzt sich MA zu gleichen Teilen ($2 \cdot MA/2$) aus Dunkel-Hell-Übergängen (oben links) und Hell-Dunkel-Übergängen (unten rechts) zusammen. Man erhält deswegen die untere linke Fläche als $S - MA/2$ und die obere rechte Fläche als $(1-S) - MA/2$. Die bedingte Wahrscheinlichkeit PS, daß ein schwarzer Punkt des 1.Vollbildes auch im 2. Vollbild schwarz ist, kann man daher ablesen als

$$PS = \frac{\text{linke untere Fläche}}{\text{linke Fläche}}$$

und die bedingte Wahrscheinlichkeit PS, daß ein weißer Punkt des 1. Vollbildes auch im 2. Vollbild weiß ist, als

$$PW = \frac{\text{rechte obere Fläche}}{\text{rechte Fläche}} .$$

Man erhält also die Beziehungen

$$PS = (S - MA/2) / S \quad (IV. 36)$$

$$PW = (1 - S - MA/2) / (1 - S) \quad (IV. 37) .$$

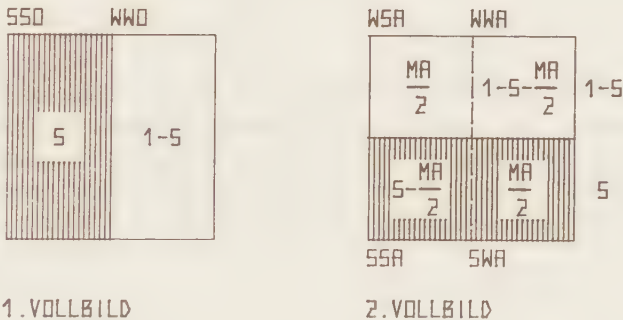


ABB. 4.23 ZUR HERLEITUNG DER UEBERGANGS-
WAHRSCHEINLICHKEITEN BEIM
INTERFRAME-MPZ-VERFAHREN

Mit $S=S$; $N=NA$ und den eben hergeleiteten PS und PW wird aus (IV.16.17):

$$WSA = SWA = \frac{MA \cdot S \cdot (1-S)}{MA \cdot (1-R) + 2 \cdot R \cdot S \cdot (1-S)} \quad (\text{IV. 38, 39})$$

und aus (IV.18):

$$R = \frac{\sum_{G=1}^{NA} \binom{NA}{G} \cdot FA^G \cdot (1-FA)^{NA-G}}{\sum_{G=1}^{NA} G \cdot \binom{NA}{G} \cdot FA^G \cdot (1-FA)^{NA-G}} \quad (\text{IV. 40}).$$

Die Fehlerwahrscheinlichkeit erhält man wieder als

$$FT = WST + SWT = (1-R) \cdot (WSA + SWA) \quad (\text{IV. 41}).$$

Diese Fehlerwahrscheinlichkeit FT benutzt man als Anfangswert zur Berechnung des Rekonstruktionsvorgangs ($T > T_2$) beim untersuchten Teilnehmerpaar. Nach Beendigung der Bewegung verringern sich die verbleibenden Fehler mit jedem Übertragungszyklus (Abb. 4.21 C):

$$FT[I+1] = FT[I] \cdot (1-R[I+1]) \quad .$$

Die Übertragungswahrscheinlichkeit $R[I+1]$ für den betrachteten Teilnehmer, für den augenblicklich das Diagramm aus Abb. 4.21 C gilt, hängt außerdem ab vom Übertragungsbedarf der übrigen $NA-1$ Teilnehmer, für die weiterhin das Diagramm aus Abb. 4.21 B gilt. Man erhält deshalb $R[I+1]$, wenn man in der Beziehung (IV.40) FA durch

$$FA \longrightarrow \frac{(NA-1) \cdot FA + FT[I]}{NA}$$

ersetzt.

Zum Vergleich soll auch jeweils die Zustandsverteilung hergeleitet werden, die sich beim Verfahren der "Langsamen Abtastung" (Kap.3.1) ergibt, wenn man gleiche Bewegungsstatistik voraussetzt. Um auch den gleichen Kompressionsfaktor zu erhalten, untersetzt man die Abtastrate um den Faktor K. In jedem Übertragungszyklus ($\hat{=}$ 1 Vollbild) kann dann genau der Anteil $1/K$ aller Punkte übertragen werden. Die Zustandsverteilung für die stationäre Bewegung ($T_1 < T < T_2$) kann man aus (IV.38.39) berechnen, wenn man $R=1/K$ setzt. Man erhält die Beziehung

$$FT = WST + SWT = 2 \cdot \frac{MA \cdot (K-1) \cdot S \cdot (1-S)}{MA \cdot (K-1) + 2 \cdot S \cdot (1-S)} \quad (IV.42) .$$

Nach Beendigung der Bewegung ($T > T_2$) werden die restlichen Fehler in K Vollbildern zeitlich linear abgebaut.

Die Ergebnisse der Rechnung sind für vier verschiedene NA und ein konstantes $MA=0.1$ als zeitlich abhängige Zustandsverteilungen (wie bei Abb. 4.18 beschrieben) in Abb. 4.24 dargestellt. Die ausgezogenen Kurven stellen die Zustandsverteilungen des MPZ-Verfahrens dar. Dabei kann jedes NA aus verschiedenen Kombinationen von N und A entstanden sein. Der Vergleich mit der Fehlerrate der "Langsamen Abtastung" (gestrichelte Kurven) geht jedoch von der Kombination $A=0.25$ und $N=4 \cdot NA$ aus, für die sich bei beiden Verfahren der gleiche Kompressionsfaktor ergibt. Der Schwarzwert der unbewegten Vorlage wird in allen Fällen mit $S=0.12$ angesetzt. Abb. 4.25 zeigt die berechneten Zustandsverteilungen für drei verschiedene MA bei einem konstanten $NA=32$ und sonst gleichen Parametern.

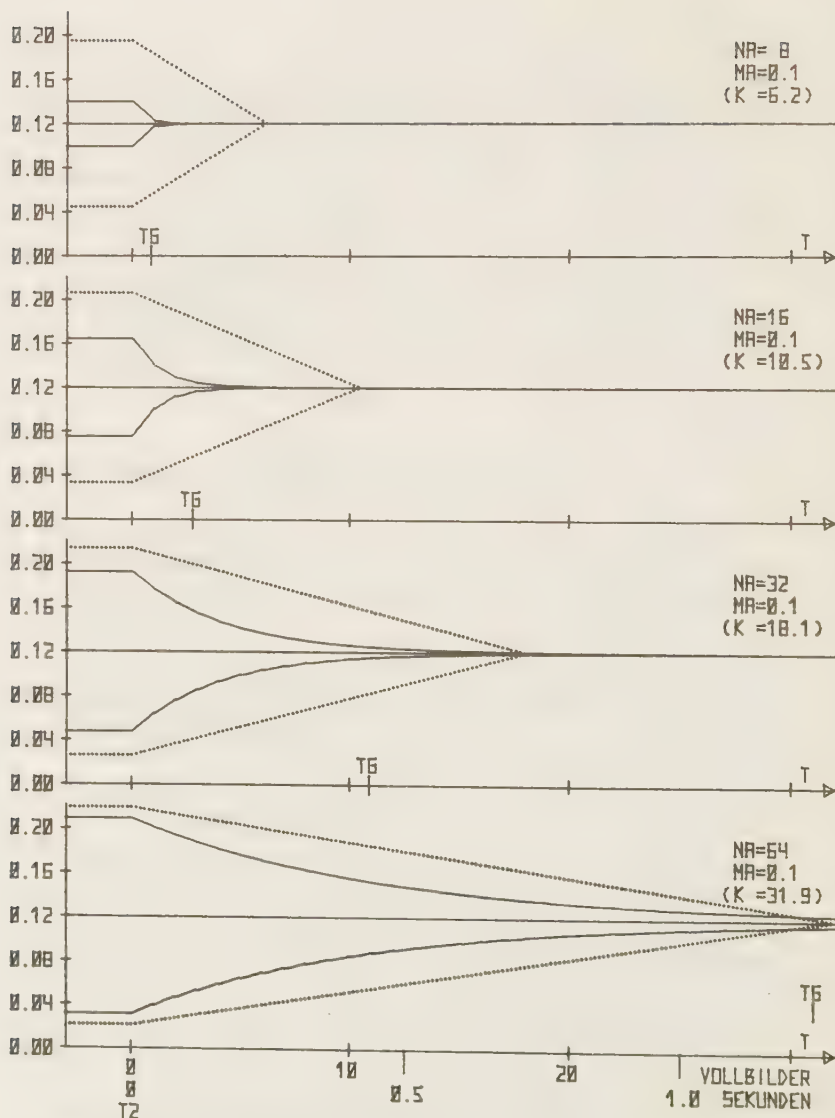


ABB. 4.24 BERECHNETE ZEITABHÄNGIGE ZUSTANDSVERTEILUNGEN
 --- FÜR DAS INTERFRAME-MPZ-VERFAHREN
 FÜR DIE LANGSAME ABTASTUNG (MIT $A=0.25$)

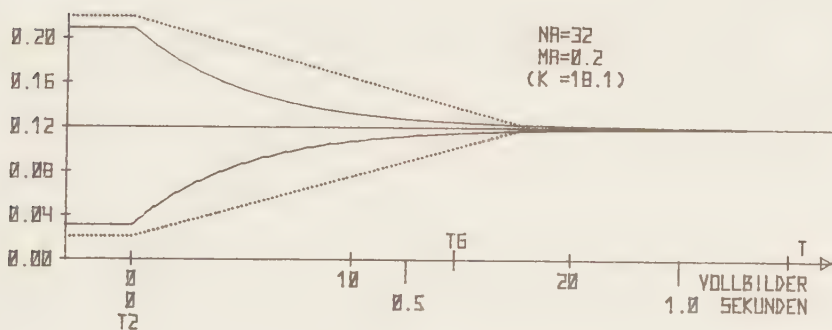
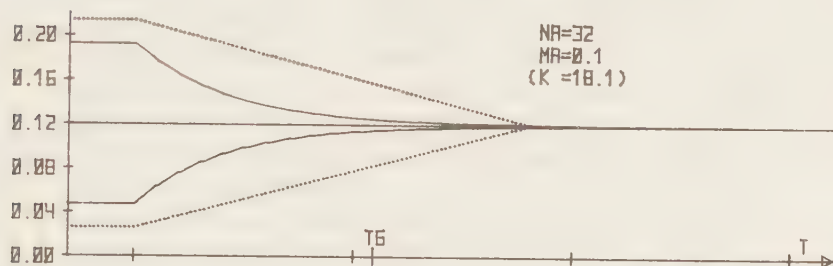
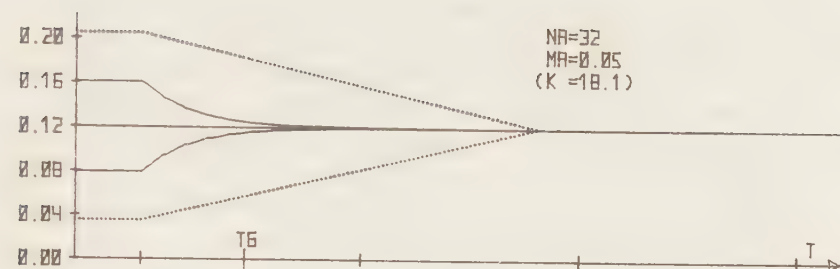


ABB.4.25 BERECHNETE ZEITABHÄNGIGE ZUSTANDSVERTEILUNGEN
 — FÜR DAS INTERFRAME-MPZ-VERFAHREN
 FÜR DIE LANGSAME ABTASTUNG

Als Maßstab für die Qualität könnte man auch die Zeit T_G heranziehen, die vergeht, bis nach Beendigung einer Bewegung die Restfehlerwahrscheinlichkeit auf einen bestimmten Wert FG abgesunken ist. Die Größe FG , bei der eine Momentaufnahme des rekonstruierten Bildes eine gerade noch annehmbare Qualität hat, läßt sich nur subjektiv bestimmen. Abb. 4.26 zeigt die Abhängigkeit der Zeit T_G von NA und MA für ein $FG=0.01$ (d. h. 1% aller Punkte werden nach der Zeit T_G noch falsch wiedergegeben; zum Vergleich siehe Abb. 6.6).

Zur Verdeutlichung der Ergebnisse noch ein konkretes Beispiel: Um das Bildtelefonsignal einer Zweittonvorlage (2 Mbit/s) auf einem Telefonkanal (64 kbit/s) übertragen zu können, benötigt man einen Kompressionsfaktor $K=31.2$. Diesen kann man mit einem Interframe-MPZ-System erreichen, wenn man $N=256$ Quellen multiplext. Nimmt man an, daß die durchschnittliche Aktivität dieser Quellen $0.125 \leq A \leq 0.25$ beträgt (nach Tab. 4.20 erhält man damit $32 \leq NA \leq 64$) und der durchschnittliche Bewegungswert $0.1 \leq MA \leq 0.2$, kann man aus dem Diagramm der Abb. 4.26 ablesen, daß eine annehmbare Qualität der Wiedergabe (1 % Fehlerrate) nach $0.44 \text{ s} \leq T_G \leq 1.4 \text{ s}$ erreicht wird.

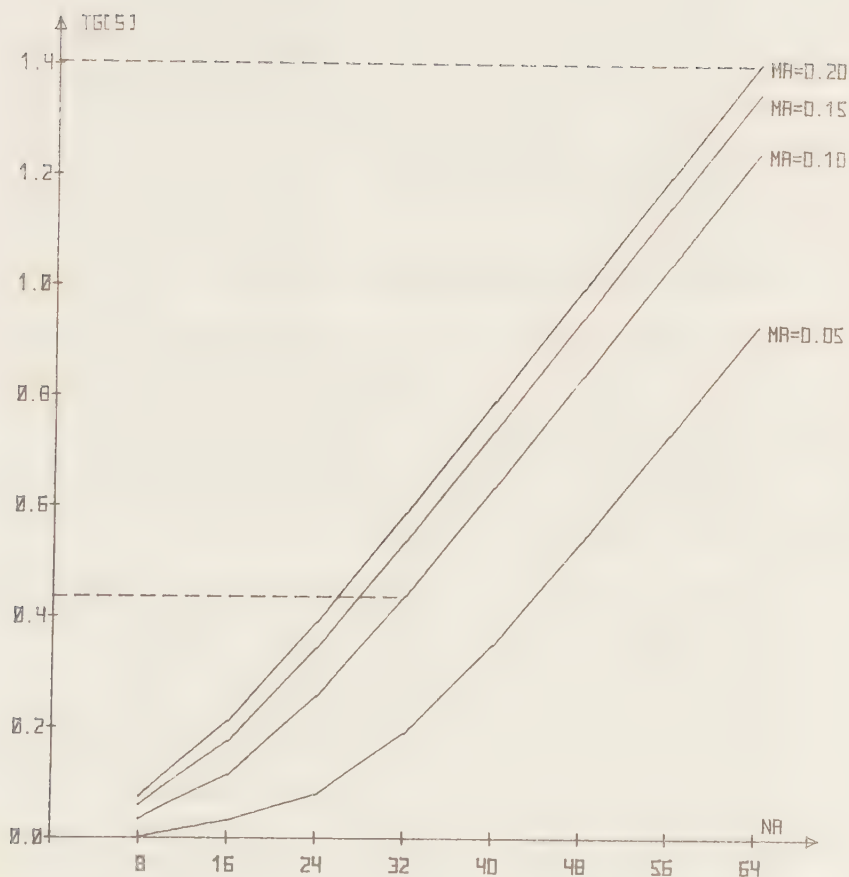


ABB. 4.26 INTERFRAME-MPZ-VERFAHREN;
ZEIT T_6 , DIE BEI VERSCHIEDENEN SYSTEMVARIANTEN (NA)
UND VERSCHIEDENEN BEWEGUNGSWERTEN (MA) VERGEHT,
BIS NACH BEENDIGUNG EINER BEWEGUNG
DIE RESTFEHLERRATE $F_6=0.01$ UNTERSCHRITTEN WIRD.

5. Experimenteller Aufbau

In diesem Kapitel wird zunächst begründet, warum der experimentelle Aufbau der drei Verfahren einer Computer-Simulation vorgezogen wurde. Anschließend werden zweckmäßige Geräteaufbauten beschrieben, mit denen man experimentelle Ergebnisse erhält, die sich auf die realen Systeme übertragen lassen. Es folgt eine Beschreibung der aufgebauten Modelle und ihrer wesentlichen Funktionsblöcke.

5.1 Nützlichkeit experimenteller Aufbauten

Die Untersuchung eines Bildverarbeitungsverfahrens läßt sich in drei Abschnitte einteilen: Theoretische Untersuchung, Computer-Simulation und experimenteller Aufbau. Dabei können die Resultate eines Abschnitts die allgemeine Gültigkeit der Ergebnisse aus den anderen Abschnitten untermauern, wenn sich für einige spezielle Vorlagen Übereinstimmung feststellen läßt.

In vielen Fällen steigt der Aufwand für die Durchführung der einzelnen Abschnitte in der oben erwähnten Reihenfolge (z. B. beim direkten MPZ-Verfahren). Der experimentelle Aufbau, der selbstverständlich nur sinnvoll ist, wenn die Voruntersuchungen ermutigende Ergebnisse geliefert haben, dient dann zur Kontrolle der Richtigkeit und Vollständigkeit der Simulationsergebnisse. Gleichzeitig läßt sich feststellen, ob das konzipierte System mit der verfügbaren Technologie überhaupt realisierbar ist, und welcher Schaltungsaufwand dafür benötigt wird.

Manchmal kann eine Umkehrung der Reihenfolge beträchtlich Aufwand sparen; beispielsweise wenn ein neues Verfahren

durch geringfügige Änderungen eines bereits aufgebauten Systems realisiert werden kann (Differenz-MPZ), oder wenn eine Verarbeitung in Echtzeit zu hohe Anforderungen an den Rechner stellt (Interframe-MPZ). Der experimentelle Aufbau erfordert in diesen Fällen den geringsten Aufwand, um die Brauchbarkeit neuer Varianten abzuschätzen.

Nicht zuletzt können bei der Realisierung in Echtzeit Effekte auftreten, die bei der Simulation entfallen oder für unwesentlich gehalten wurden, die aber die Beurteilung der subjektiven Qualität eines Verfahrens entscheidend beeinflussen können.

5.2 Modelle für MPZ - Systeme

Will man die Realisierbarkeit eines Systems zeigen und bestimmte Effekte in Echtzeit untersuchen, genügt es, ein Modell des konzipierten Systems aufzubauen. Dabei kann man sämtliche Teile aussparen, die die untersuchten Eigenschaften nicht beeinflussen und deren Realisierbarkeit entweder bereits bekannt ist oder ein spezielles Problem darstellt, an dessen Lösung anderweitig gearbeitet wird. Aus diesem Grund wurden folgende Einrichtungen, die eigentlich zum vollständigen Übertragungssystem gehören, beim Aufbau der MPZ - Modelle weggelassen:

1. Kanalcodierung und -decodierung bilden ein eigenes Arbeitsgebiet und haben keine unmittelbare Verbindung zu den untersuchten Quellencodierungsverfahren. Die Übertragung über den Kanal wird deshalb als fehlerfrei angenommen und der Ausgang des Quellencodierers direkt mit dem Eingang des Quellendecodierers verbunden.

2. Am gesamten Nachrichtenvolumen ändert sich nichts, wenn die Daten seriell oder parallel angeboten werden. Auf eine serielle Darstellung der übertragenen Adressen wurde deshalb verzichtet.

3. Um den Gleichlauf zwischen Sender und Empfänger sicherzustellen, müssen Synchronzeichen mitübertragen werden. Es sind Verfahren bekannt [20], mit denen sich diese Zeichen in die Signalfolge einfügen lassen, ohne den Übertragungsbedarf wesentlich zu erhöhen. Die Synchronisation erfolgt deshalb beim experimentellen Aufbau über gesonderte Leitungen.

Um die subjektive Bildqualität verschiedener Übertragungsverfahren vergleichen zu können, muß man die Vorlagen so an die verwendete Abtasteinrichtung anpassen, daß die Zahl der Abtastzeilen (und der Abtastpunkte) pro Längeneinheit der Vorlage konstant bleibt. Man kann also von einem 5 MHz-Fernsehsystem auf ein 1 MHz-Bildfernsprecher-System übergehen, wenn man die abgetastete Fläche der Vorlage auf etwa ein Fünftel reduziert. Man geht dann von der gleichen Grundqualität aus und kann so die Qualität des eigentlichen Quellencodierungsverfahrens gerecht beurteilen. Zur Einsparung von Schaltungsaufwand wurde deshalb ein Fernsehsystem verwendet, das nach der Bildfernsprecher-Norm mit einer Bandbreite von 1MHz und einer Zeilenfrequenz von 8 kHz arbeitet. Die horizontale und vertikale Auflösung verringert sich dabei jeweils um etwa den Faktor 2.2, dagegen bleibt die zeitliche Auflösung die gleiche wie bei dem 5 MHz-System. Der Speicheraufwand für ein Vollbild wird gegenüber dem gebräuchlichen Fernsehsystem um den Faktor 5 verringert, während die Zeit, die zur Verarbeitung der gleichzeitig abgetasteten Information zur Verfügung steht, um den gleichen Faktor erhöht wird. Um bei der Speicherorganisation unnötigen Aufwand zu sparen, wurde der Bild-

ausschnitt begrenzt und in 256 Zeilen mit je 256 Punkten eingeteilt.

Für eine brauchbare Scharmittelung muß man sehr viele statistisch unabhängige Abtastwerte gleichzeitig zur Verfügung haben. Diese Forderung ist beispielsweise in einem realen System erfüllt, wenn die zur Mittelung herangezogenen Quellensignale von ebensovielen Fernsehkameras (oder Magnetbandgeräten) geliefert werden, die voneinander unabhängige Vorlagen abtasten. Bei einer experimentellen Anordnung ist es aber unmöglich, jedem Quellensignal eine eigene Kamera zuzuordnen, wenn man Kompressionsfaktoren erreichen will, die einen gewissen Schaltungsaufwand rechtfertigen. Bei Verwendung einer einzigen Kamera wird das Informationsvolumen, das insgesamt ausgewertet werden kann, stark reduziert. Dies stellt jedoch keine prinzipielle Einschränkung dar, wenn es gelingt, aus dieser einen Folge von Abtastwerten statistisch unabhängige Quellensignale zu gewinnen, die gleichzeitig zur Verfügung stehen und gemeinsam weiterverarbeitet werden können. Hat man als Eingangssignal eine rein serielle Abtastfolge, muß man mindestens so viele Punkte speichern, wie man gemeinsam verarbeiten möchte. Handelt es sich dabei aber um örtlich benachbarte Punkte, ist eine wesentliche Voraussetzung für die Anwendung einer Scharmittelung nicht mehr erfüllt, die statistischen Bindungen gleichzeitig verarbeiteter Punkte können nicht vernachlässigt werden.

Man muß deshalb wesentlich größere Teile eines Bildes speichern, am besten ein ganzes Vollbild, damit die Speicherausgänge Quellensignale liefern können, die aus örtlich möglichst weit voneinander entfernten und deshalb wenig korrelierten Punkten bestehen. Man teilt dazu das gespeicherte Bild in mehrere gleich große Bereiche ein, deren einzelne Punkte dann gleichzeitig und in gleicher

Reihenfolge ausgelesen werden. Beim direkten und beim Differenz-MPZ-Verfahren ist die Forderung nach statistischer Unabhängigkeit mit guter Näherung erfüllt, wenn die Strukturen der Vorlage wesentlich kleiner sind als die Abmessungen dieser Bereichseinteilung.

Beim Interframe-Verfahren ist es wesentlich schwieriger, völlig unabhängige Quellensignale zu gewinnen. Bei einem realen System werden die Quellensignale wieder von N Teilnehmern geliefert, die beliebige Zweitontvorlagen voneinander unabhängig beliebig oft, beliebig schnell und in beliebiger Richtung bewegen. Will man nun wieder Abtastgeräte einsparen und die N Quellensignale aus N Bereichen einer Vorlage beziehen, lassen sich unabhängige Bewegungen in den einzelnen Bereichen nur sehr schwer realisieren.

Bei genauerer Betrachtung stellt man aber fest, daß sich statistische Abhängigkeiten der Bewegungsverläufe bei typischen Vorlagen kaum auswirken, solange sich die mittlere "Bewegungsleistung" aller Vorlagen nicht ändert, solange also die Anzahl der gemeldeten Helligkeitswechsel pro Zeiteinheit die gleiche bleibt wie bei unabhängigen Bewegungen.

Der typische Bewegungsverlauf einer Zweitontvorlage setzt sich aus bewegten und ruhigen Abschnitten zusammen. In einem realen System kann man deshalb erwarten, daß sich gleichzeitig immer etwa NA Teilnehmer in einem bewegten und $N-NA$ Teilnehmer in einem ruhigen Abschnitt befinden. Zur vereinfachten Nachbildung dieser Situation verwendet man deshalb eine Vorlage, deren NA/N -ter Teil eine bewegte Zweitont-Struktur mit typischer Schwarz-Weiß-Verteilung enthält. Der unbewegte Teil $(N-NA)/N$ meldet nie Übertragungsbedarf an und braucht deshalb auch weder von der Kamera abgetastet noch am Konzentrator angeschlos-

sen werden. Lediglich bei der Berechnung des Kompressionsfaktors spielt er eine entscheidende Rolle.

5.3 Schaltungsrealisierung des direkten MPZ-Verfahrens

Abb. 5.1 zeigt das Blockschaltbild für die experimentelle Realisierung des direkten MPZ-Verfahrens. Jedes Halbbild wird zunächst in 8 Bereiche zu je 16 Zeilen aufgeteilt (Abb. 5.2). Die Abtastwerte werden durch den Demultiplexer der Abb. 5.1 nacheinander in die 7 Bereichsspeicher SPE1 bis SPE7 gefüllt, so daß Speicher SPE1 die Zeilen 1,3,5,...,31 (im 1. Halbbild) bzw. die Zeilen 2,4,6,...,32 (im 2. Halbbild) enthält, Speicher SPE2 die Zeilen 33,35,...,63 usw. Bei der Abtastung des achten Bereichs werden pro Abtastintervall 7 gespeicherte Werte aus den Speichern SPE1 bis SPE7 gleichzeitig ausgelesen und zusammen mit dem direkten Abtastwert zur Weiterverarbeitung an den Konzentrator angelegt. Dieser wählt jeweils einen der signifikanten Punkte aus und liefert am zugehörigen Ausgang logisch 0, an allen anderen Ausgängen logisch 1. Die Ergebnisse dieser Verarbeitung werden in weiteren Speichern SPA aufbewahrt, damit man sie im nächsten Halbbild durch den Multiplexer abrufen und an der ursprünglichen Abtaststelle wiedergeben kann.

Durch die Gesamtverzögerung um ein Halbbild erhält man eine Vertauschung der beiden Halbbilder und damit eine paarweise Zeilenvertauschung im Empfängerbild. Der Fehler läßt sich leicht wieder beseitigen, wenn man die gesamte Information des einen Halbbildes im Speicher Z um eine weitere Zeile verzögert.

Die Bereichsspeicher für das Originalsignal und für das verarbeitete Signal müssen beide jeweils 16 Zeilen spei-

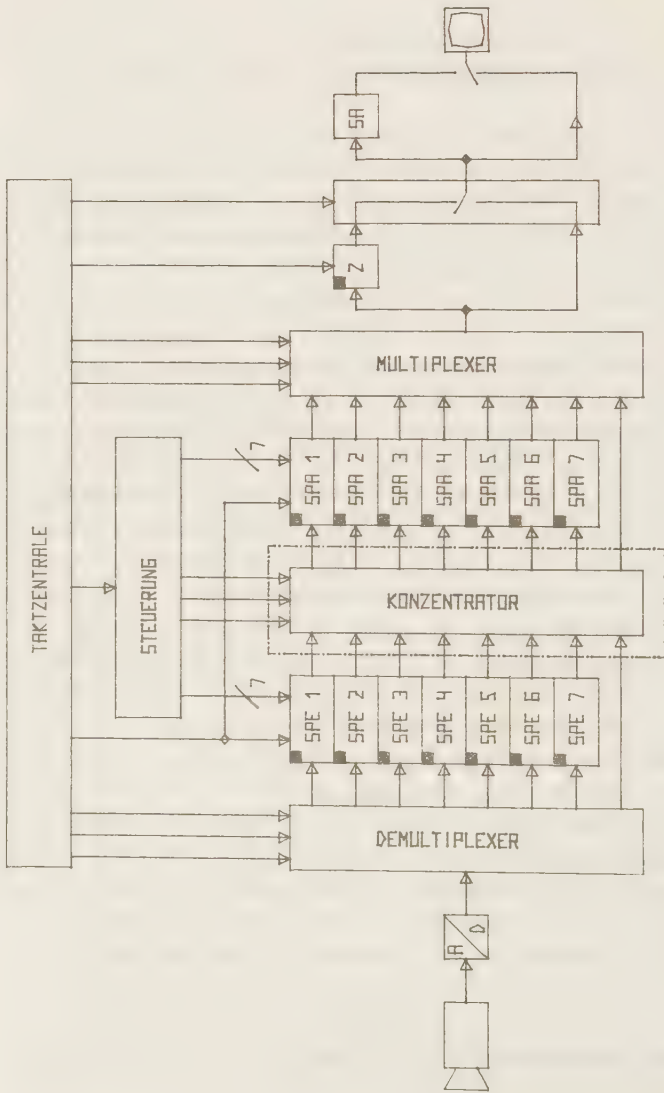


ABB. 5.1 BLOCKSCHALTBILD DES EXPERIMENTIERGERÄTS FÜR DAS DIREKTE MP2-VERFAHREN UND FÜR DAS DIFFERENZ-MP2-VERFAHREN

IM 1. HALBBILD ENTHAEHLT

BEREICH DIE ZEILEN

1	1, 3, ... 31
2	33, 35, ... 63
3	65, 67, ... 95
4	97, 99, ... 127
5	129, 131, ... 159
6	161, 163, ... 191
7	193, 195, ... 223
8	225, 227, ... 255

IM 2. HALBBILD ENTHAEHLT

BEREICH DIE ZEILEN

1	2, 4, ... 32
2	34, 36, ... 64
3	66, 68, ... 96
4	98, 100, ... 128
5	130, 132, ... 160
6	162, 164, ... 192
7	194, 196, ... 224
8	226, 228, ... 256

ABB.5.2 BEREICHSEINTEILUNG DER BILDFLAECH FÜR DEN
EXPERIMENTELLEN AUFBAU DES DIREKTEN MPZ-VERFAHRENS

chern können. Man bräuchte also Speicherplatz für $2 \cdot 7 \cdot 16$ Zeilen = 224 Zeilen = 7/8 Vollbild. Da jedoch das verarbeitete Signal eingeschrieben wird, wenn das Originalsignal ausgelesen ist und umgekehrt, kann man für beide Zwecke dieselben Speicher verwenden ($SPA \equiv SPE$; im Blockschaltbild nicht dargestellt) und dadurch den Speicherplatz auf die Hälfte reduzieren. Man muß lediglich Informationsweichen an den Speichereingängen und -ausgängen vorsehen und diese entsprechend steuern. An dieser Stelle sei daran erinnert, daß die gesamte Speicherung nur als Ersatz für $N-1$ Kameras dient, in einem realen System ist sie deshalb ohnehin überflüssig.

Durch Anzapfung der Ein- und Ausgänge des Konzentrators kann man die schwarzen Punkte des Originalsignals und des verarbeiteten Signals bereichsweise auszählen und

daraus die Fehlerhäufigkeit ermitteln. Wenn man Verbindungen zwischen Demultiplexer und Speicher unterbricht und damit die entsprechenden Bereiche von der Bedarfsanmeldung ausschließt, lassen sich Belegungen von 1 - 8 Teilnehmern untersuchen. Die in Kap. 4.3.1 (Abb. 4.6D) erwähnte Variante ist ebenfalls realisiert: Durch Zuschaltung des Blockes SA ("Schwarz-Auffüllung") können alle weißen Punkte in schwarze umgewandelt werden, die horizontal von zwei schwarzen umgeben sind.

5.3.1 Taktzentrale

Der Block "Taktzentrale" bekommt die Horizontal- und Vertikalimpulse zugeführt, die zur Synchronisierung von Kamera und Monitor dienen. Er erzeugt daraus einen Bildpunkttakt mit 256 Anstiegsflanken pro Zeile, außerdem liefert er Codeworte für die augenblickliche Lage des Abtastpunktes und zwar: ein 8 bit-Codewort für die Nummer des abgetasteten Punktes, ein 8 bit-Codewort für die Nummer der abgetasteten Zeile, ein 1 bit-Wort für das Halbbild und ein 5 bit-Wort zur Unterscheidung von 32 aufeinanderfolgenden Vollbildern. Diese Taktzentrale wird für alle drei Verfahren gemeinsam benutzt.

5.3.2 Prioritätszuteilung und Prioritätssteuerung (Konzentrator)

Wie schon erwähnt, hat der Konzentrator die Aufgabe, aus den $0 \leq G \leq N$ gleichzeitig anliegenden signifikanten Punkten einen für die Übertragung auszuwählen. Dafür muß er folgende Bedingungen erfüllen:

1. Wenn im augenblicklichen Abtastintervall überhaupt kein Bedarf vorliegt, sollte dies daran erkennbar sein,

daß alle Konzentratorausgänge inaktiv (z. B. logisch 1) sind. Dieser Zustand kann auch zusammengefaßt und zusätzlich übertragen werden.

2. Wenn genau eine Bedarfsmeldung vorliegt, muß der zugehörige Konzentratorausgang aktiviert werden (z. B. logisch 0).
3. Wenn mehrere Bedarfsmeldungen gleichzeitig vorliegen, wird durch ein Steuerwort, dessen Bedeutung und Wirkung später im einzelnen beschrieben wird, entschieden, welcher davon in diesem Abtastintervall die Priorität zugeteilt wird. Der zugehörige Ausgang wird aktiviert, alle anderen Ausgänge bleiben inaktiv.

An einem einfachen Konzentrator mit nur zwei Eingängen X_1 , X_2 , zwei Ausgängen Y_1 , Y_2 und einer Steuervariablen A soll das Prinzip verdeutlicht werden. Tab. 5.3 zeigt die Wahrheitstabelle für eine Schaltung mit den geforderten Eigenschaften. Daraus lassen sich folgende minimierte logische Gleichungen ablesen:

$$Y_1 = X_1 \vee (\overline{X_2} \wedge A) \quad (V. 1a)$$

$$Y_2 = X_2 \vee (\overline{X_1} \wedge \overline{A}) \quad (V. 2a).$$

Um bei der Realisierung einheitliche Bausteine verwenden zu können (z. B. NAND-Gatter), formt man diese Gleichungen um:

$$Y_1 = \overline{\overline{X_1} \wedge (\overline{X_2} \wedge A)} \quad (V. 1b)$$

$$Y_2 = \overline{\overline{X_2} \wedge (\overline{X_1} \wedge \overline{A})} \quad (V. 2b).$$

Das Schaltbild hierfür zeigt Abb. 5.4 .

X1	X2	A	Y1	Y2
0	0	0	0	1
0	0	1	1	0
0	1	0	0	1
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	1	0
1	1	0	1	1
1	1	1	1	1

TAB.5.3 WAHRHEITSTABELLE EINES
MPZ-KONZENTRATORS
MIT ZWEI EINGÄNGEN

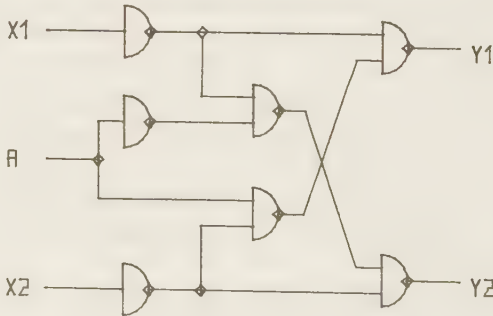


ABB.5.4 REALISIERUNG EINES MPZ-KONZENTRATORS
MIT ZWEI EINGÄNGEN AUS NAND-GÄTTERN

Für einen Konzentrador mit N Eingängen und Ausgängen läßt sich dieses Prinzip in ld N Stufen (und mit ld N Steuervariablen) nacheinander anwenden. Für N=8 (3 Stufen, 3 Steuervariable A, B, C) erhält man damit folgendes Gleichungssystem:

$$\overline{Y1} = \overline{X1} \wedge (\overline{X2} \wedge \overline{A}) \wedge ((\overline{X3} \wedge \overline{X4}) \wedge \overline{B}) \wedge ((\overline{X5} \wedge \overline{X6} \wedge \overline{X7} \wedge \overline{X8}) \wedge \overline{C}) \quad (V.3)$$

$$\overline{Y2} = \overline{X2} \wedge (\overline{X1} \wedge \overline{A}) \wedge ((\overline{X3} \wedge \overline{X4}) \wedge \overline{B}) \wedge ((\overline{X5} \wedge \overline{X6} \wedge \overline{X7} \wedge \overline{X8}) \wedge \overline{C}) \quad (V.4)$$

$$\overline{Y3} = \overline{X3} \wedge (\overline{X4} \wedge \overline{A}) \wedge ((\overline{X1} \wedge \overline{X2}) \wedge \overline{B}) \wedge ((\overline{X5} \wedge \overline{X6} \wedge \overline{X7} \wedge \overline{X8}) \wedge \overline{C}) \quad (V.5)$$

$$\overline{Y4} = \overline{X4} \wedge (\overline{X3} \wedge \overline{A}) \wedge ((\overline{X1} \wedge \overline{X2}) \wedge \overline{B}) \wedge ((\overline{X5} \wedge \overline{X6} \wedge \overline{X7} \wedge \overline{X8}) \wedge \overline{C}) \quad (V.6)$$

$$\overline{Y5} = \overline{X5} \wedge (\overline{X6} \wedge \overline{A}) \wedge ((\overline{X7} \wedge \overline{X8}) \wedge \overline{B}) \wedge ((\overline{X1} \wedge \overline{X2} \wedge \overline{X3} \wedge \overline{X4}) \wedge \overline{C}) \quad (V.7)$$

$$\overline{Y6} = \overline{X6} \wedge (\overline{X5} \wedge \overline{A}) \wedge ((\overline{X7} \wedge \overline{X8}) \wedge \overline{B}) \wedge ((\overline{X1} \wedge \overline{X2} \wedge \overline{X3} \wedge \overline{X4}) \wedge \overline{C}) \quad (V.8)$$

$$\overline{Y7} = \overline{X7} \wedge (\overline{X8} \wedge \overline{A}) \wedge ((\overline{X5} \wedge \overline{X6}) \wedge \overline{B}) \wedge ((\overline{X1} \wedge \overline{X2} \wedge \overline{X3} \wedge \overline{X4}) \wedge \overline{C}) \quad (V.9)$$

$$\overline{Y8} = \overline{X8} \wedge (\overline{X7} \wedge \overline{A}) \wedge ((\overline{X5} \wedge \overline{X6}) \wedge \overline{B}) \wedge ((\overline{X1} \wedge \overline{X2} \wedge \overline{X3} \wedge \overline{X4}) \wedge \overline{C}) \quad (V.10).$$

Abb. 5.5 zeigt die Schaltungsrealisierung dieses Systems mit NAND-Gattern (12 integrierte Bausteine), die im experimentellen Aufbau verwendet wurde.[21]

Für eine Serienfertigung kommen allerdings andere Realisierungsmethoden in Betracht. Man könnte zunächst an eine Implementierung mit Festwertspeichern (ROM's) denken, die jedoch einen Speicherplatzbedarf von $8 \cdot 2^{11} = 16384$ bit erfordert und deshalb vorläufig unwirtschaftlich ist. Aussichtsreicher erscheint dagegen eine Realisierung mit einer "programmierbaren logischen Anordnung" (PLA). Dazu benötigt man die Gleichungen (V.3 - V.10) in einer zweistufigen Form:

$$Y1 = X1 \vee (\overline{X2} \wedge A) \vee (\overline{X3} \wedge B) \vee (\overline{X4} \wedge B) \vee (\overline{X5} \wedge C) \vee (\overline{X6} \wedge C) \vee (\overline{X7} \wedge C) \vee (\overline{X8} \wedge C) \quad (V.11)$$

$$Y2 = X2 \vee (\overline{X1} \wedge \overline{A}) \vee (\overline{X3} \wedge B) \vee (\overline{X4} \wedge B) \vee (\overline{X5} \wedge C) \vee (\overline{X6} \wedge C) \vee (\overline{X7} \wedge C) \vee (\overline{X8} \wedge C) \quad (V.12)$$

$$Y3 = X3 \vee (\overline{X4} \wedge A) \vee (\overline{X1} \wedge \overline{B}) \vee (\overline{X2} \wedge \overline{B}) \vee (\overline{X5} \wedge C) \vee (\overline{X6} \wedge C) \vee (\overline{X7} \wedge C) \vee (\overline{X8} \wedge C) \quad (V.13)$$

$$Y4 = X4 \vee (\overline{X3} \wedge \overline{A}) \vee (\overline{X1} \wedge \overline{B}) \vee (\overline{X2} \wedge \overline{B}) \vee (\overline{X5} \wedge C) \vee (\overline{X6} \wedge C) \vee (\overline{X7} \wedge C) \vee (\overline{X8} \wedge C) \quad (V.14)$$

$$Y5 = X5 \vee (\overline{X6} \wedge A) \vee (\overline{X7} \wedge B) \vee (\overline{X8} \wedge B) \vee (\overline{X1} \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X2} \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X3} \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X4} \wedge \overline{C}) \quad (V.15)$$

$$Y6 = X6 \vee (\overline{X5} \wedge \overline{A}) \vee (\overline{X7} \wedge B) \vee (\overline{X8} \wedge B) \vee (\overline{X1} \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X2} \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X3} \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X4} \wedge \overline{C}) \quad (V.16)$$

$$Y7 = X7 \vee (\overline{X8} \wedge A) \vee (\overline{X5} \wedge \overline{B}) \vee (\overline{X6} \wedge \overline{B}) \vee (\overline{X1} \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X2} \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X3} \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X4} \wedge \overline{C}) \quad (V.17)$$

$$Y8 = X8 \vee (\overline{X7} \wedge \overline{A}) \vee (\overline{X5} \wedge \overline{B}) \vee (\overline{X6} \wedge \overline{B}) \vee (\overline{X1} \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X2} \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X3} \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X4} \wedge \overline{C}) \quad (V.18) .$$

Handelsübliche PLA's besitzen 14 Eingänge, 8 Ausgänge und 96 interne UND-Gatter; die Anforderungen des Gleichungssystems (V.11 - V.18) mit 11 Eingängen $X1, \dots, X8, A, B, C$, 8 Ausgängen $Y1, \dots, Y8$ und 32 verschiedenen UND-Verknüpfungen (Produkttermen) $X1, (\overline{X2} \wedge A), \dots, (\overline{X8} \wedge C)$ können also leicht von einem einzigen integrierten Baustein erfüllt werden.

Größere Konzentratoren baut man dann vorteilhaft aus diesen Bausteinen auf. Es empfiehlt sich allerdings, dafür die Adreßcodierung YA, YB, YC und eine Gesamtbedarfsmeldung YO mitzuintegrieren:

$$YA = Y2 \wedge Y4 \wedge Y6 \wedge Y8$$

$$YB = Y3 \wedge Y4 \wedge Y7 \wedge Y8$$

$$YC = Y5 \wedge Y6 \wedge Y7 \wedge Y8$$

$$YO = X1 \wedge X2 \wedge X3 \wedge X4 \wedge X5 \wedge X6 \wedge X7 \wedge X8 \quad .$$

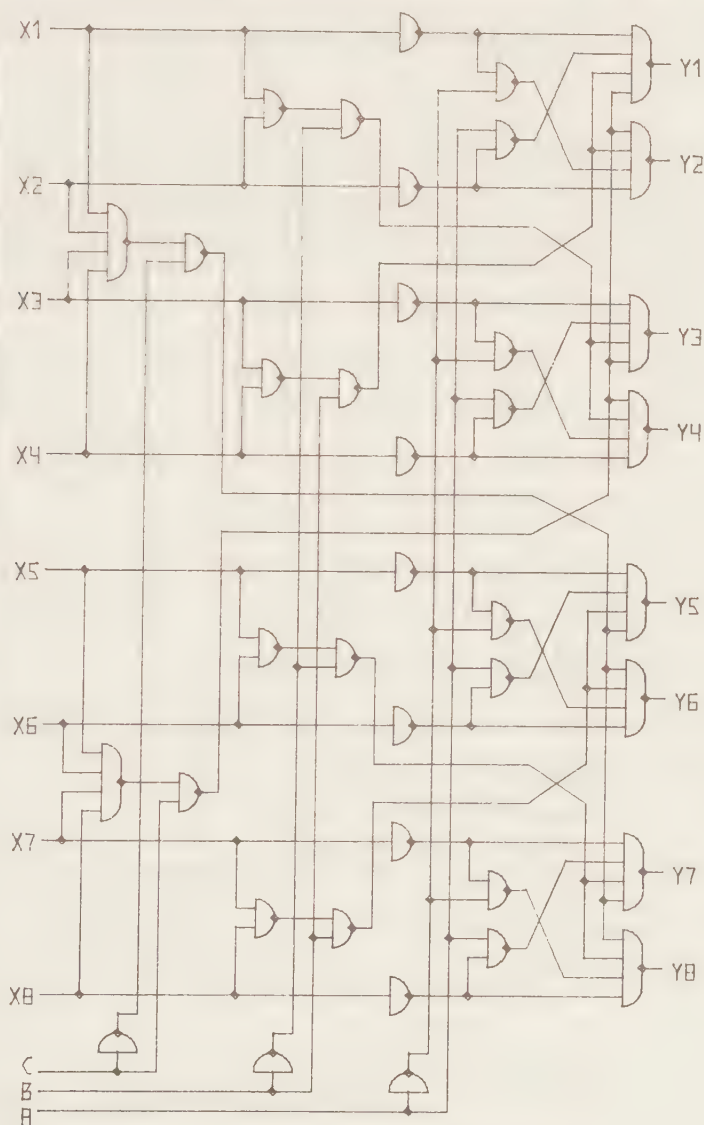


ABB.5.5 REALISIERUNG EINES MPZ-KONZENTRATORS
MIT 8 EINGÄNGEN AUS NAND-GÄTTERN

Durch Einsetzen der Gleichungen (V.11 - V.18), Ausmultiplizieren und Minimieren erhält man die folgenden zweistufigen Formen:

$$\begin{aligned}
 Y_A = & (\overline{X_1} \wedge \overline{A} \wedge \overline{B} \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X_3} \wedge \overline{A} \wedge B \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X_5} \wedge \overline{A} \wedge \overline{B} \wedge C) \vee (\overline{X_7} \wedge \overline{A} \wedge B \wedge C) \\
 & \vee (\overline{X_1} \wedge X_2 \wedge \overline{B} \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X_3} \wedge X_4 \wedge B \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X_5} \wedge X_6 \wedge \overline{B} \wedge C) \vee (\overline{X_7} \wedge X_8 \wedge B \wedge C) \\
 & \vee (\overline{X_1} \wedge X_4 \wedge \overline{A} \wedge \overline{C}) \vee (X_2 \wedge \overline{X_3} \wedge \overline{A} \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X_5} \wedge X_8 \wedge \overline{A} \wedge C) \vee (X_6 \wedge \overline{X_7} \wedge \overline{A} \wedge C) \\
 & \vee (\overline{X_1} \wedge X_4 \wedge \overline{X_7} \wedge \overline{A} \wedge B) \vee (X_2 \wedge X_4 \wedge \overline{X_7} \wedge \overline{A} \wedge B) \\
 & \vee (\overline{X_3} \wedge \overline{X_5} \wedge X_8 \wedge \overline{A} \wedge B) \vee (\overline{X_3} \wedge X_6 \wedge X_8 \wedge \overline{A} \wedge B) \\
 & \vee (\overline{X_1} \wedge X_6 \wedge \overline{X_7} \wedge \overline{A} \wedge \overline{B}) \vee (\overline{X_1} \wedge X_6 \wedge X_8 \wedge \overline{A} \wedge \overline{B}) \\
 & \vee (X_2 \wedge \overline{X_3} \wedge \overline{X_5} \wedge \overline{A} \wedge \overline{B}) \vee (X_2 \wedge X_4 \wedge \overline{X_5} \wedge \overline{A} \wedge \overline{B}) \\
 & \vee (\overline{X_1} \wedge X_4 \wedge X_6 \wedge X_8 \wedge \overline{A}) \vee (X_2 \wedge \overline{X_3} \wedge X_6 \wedge X_8 \wedge \overline{A}) \\
 & \vee (X_2 \wedge X_4 \wedge \overline{X_5} \wedge X_8 \wedge \overline{A}) \vee (X_2 \wedge X_4 \wedge X_6 \wedge \overline{X_7} \wedge \overline{A}) \\
 & \vee (\overline{X_1} \wedge X_2 \wedge X_6 \wedge X_8 \wedge \overline{B}) \vee (X_2 \wedge X_4 \wedge \overline{X_5} \wedge X_6 \wedge \overline{B}) \\
 & \vee (X_2 \wedge X_4 \wedge \overline{X_7} \wedge X_8 \wedge B) \vee (\overline{X_3} \wedge X_4 \wedge X_6 \wedge X_8 \wedge B) \\
 & \vee (\overline{X_1} \wedge X_2 \wedge X_4 \wedge \overline{C}) \vee (X_2 \wedge \overline{X_3} \wedge X_4 \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X_5} \wedge X_6 \wedge X_8 \wedge C) \vee (X_6 \wedge \overline{X_7} \wedge X_8 \wedge C) \\
 & \vee (X_2 \wedge X_4 \wedge X_6 \wedge X_8)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_B = & (X_3 \wedge X_4 \wedge X_7 \wedge X_8) \vee (\overline{X_1} \wedge \overline{B} \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X_2} \wedge \overline{B} \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X_5} \wedge \overline{B} \wedge C) \vee (\overline{X_6} \wedge \overline{B} \wedge C) \\
 & \vee (\overline{X_1} \wedge X_7 \wedge X_8 \wedge \overline{B}) \vee (\overline{X_2} \wedge X_7 \wedge X_8 \wedge \overline{B}) \vee (X_3 \wedge X_4 \wedge \overline{X_5} \wedge \overline{B}) \vee (X_3 \wedge X_4 \wedge \overline{X_6} \wedge \overline{B}) \\
 & \vee (\overline{X_1} \wedge X_3 \wedge X_4 \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X_2} \wedge X_3 \wedge X_4 \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X_5} \wedge X_7 \wedge X_8 \wedge C) \vee (\overline{X_6} \wedge X_7 \wedge X_8 \wedge C)
 \end{aligned}$$

$$Y_C = (\overline{X_1} \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X_2} \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X_3} \wedge \overline{C}) \vee (\overline{X_4} \wedge \overline{C}) \vee (X_5 \wedge X_6 \wedge X_7 \wedge X_8)$$

$$Y_0 = X_1 \wedge X_2 \wedge X_3 \wedge X_4 \wedge X_5 \wedge X_6 \wedge X_7 \wedge X_8$$

Man bekommt also 11 Eingänge, 4 Ausgänge und 52 Produktterme, die sich ebenfalls in einem einzigen PLA unterbringen lassen.

Als Beispiel zeigt Abb. 5.6 eine mögliche Schaltungsanordnung für einen Konzentrator mit 64 Eingängen. Die Konzentratoren 1 - 8 wählen jeder für sich einen ihrer aktiven Eingänge aus und verschlüsseln dessen Adresse mit einem 3 bit-Codewort (z. B. für X11: YC2=0, YB2=1, YA2=0). Durch die Signale Y01...Y08 erfährt der über-

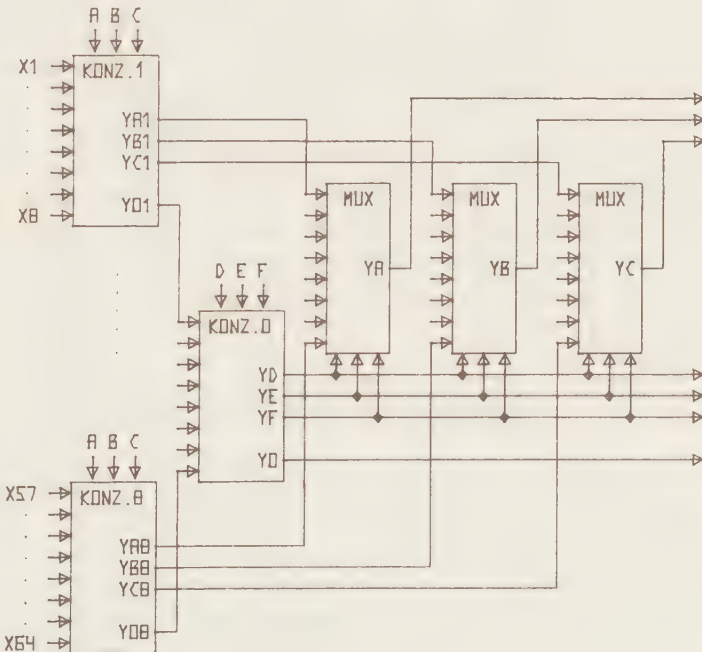


ABB.5.6 KONZENTRATOR MIT 64 EINGÄNGEN

geordnete Konzentrator 0, bei welchen Einzel-Konzentratoren überhaupt Bedarf vorliegt. Teilt er dann die Priorität beispielsweise dem Konzentrator 2 zu und meldet diese Zuteilung den Multiplexern über ein weiteres 3 bit-Codewort YF, YE, YD, so werden die Ausgänge des Konzentrators 2 YC2, YB2, YA2 an die Ausgänge YC, YB, YA der Multiplexer durchgeschaltet. Jedes Steuerwort, das aus den drei Steuervariablen A, B und C besteht, legt eine bestimmte Prioritätsreihenfolge fest. In Tab. 5.7 sind diese verschiedenen Reihenfolgen zusammengefaßt.

C B A

ABNEHMENDE PRIORITÄET

0 0 0

0 0 1

0 1 0

0 1 1

1 0 0

1 0 1

1 1 0

1 1 1

1	2	3	4	5	6	7	8
2	1	4	3	6	5	8	7
3	4	1	2	7	8	5	6
4	3	2	1	8	7	6	5
5	6	7	8	1	2	3	4
6	5	8	7	2	1	4	3
7	8	5	6	3	4	1	2
8	7	6	5	4	3	2	1

TAB.5.7

PRIORITÄTSREIHENFOLGE IN
ABHÄNGIGKEIT VOM STEUERCODEWORD

Liegt beispielsweise in einem bestimmten Abtastintervall das Steuerwort C=0, B=1, A=1 vor, wird der Quelle 4 die Priorität zugeteilt. Meldet sie jedoch gerade keinen Bedarf an, geht die Priorität auf Quelle 3 über, dann auf Quelle 2 usw. Alle Quellen-Nummern kommen in der Tabelle pro Spalte und Zeile genau einmal vor. Jede Quelle be-

sitzt also einmal die höchste Priorität, einmal die zweithöchste usw.

Treten alle Steuerworte gleich häufig auf, wird allen Teilnehmern die gleiche Chance der Bedarfszuteilung eingeräumt. Die Steuerworte ändern sich mit jedem Abtastintervall, daher kommt die Sammelbezeichnung "Momentane Prioritätszuteilung" (MPZ).

Die Zuordnung der Steuerworte zu den Punkten der Bildfläche beeinflusst die Qualität des rekonstruierten Bildes. Sie soll deshalb zwei Bedingungen erfüllen:

1. Einem bestimmten Bildpunkt soll in allen Vollbildern das gleiche Steuerwort zugeordnet werden. Dadurch ergibt sich ein "eingefrorenes" Fehlermuster, das subjektiv weniger störend wirkt als ein Fehlermuster aus flimmernden Punkten.
2. Die Reihenfolge der Steuerworte soll so gewählt werden, daß durch die Prioritätsauswahl keine störenden Strukturen im Fehlermuster entstehen. Tab. 5.8 zeigt mögliche Zuordnungen dezimal verschlüsselter Steuerworte zu einem Ausschnitt von $8 \cdot 8$ Bildpunkten. Anordnung A erzeugt senkrechte, Anordnung B schräge Strukturen, sie sind deshalb beide ungeeignet. Entnimmt man die Steuerworte einem Pseudozufallsgenerator mit genügend langer Periode, erhält man die Anordnung C. Es werden zwar keinerlei Strukturen erzeugt, die erforderlichen Schaltungen sind jedoch ziemlich aufwendig. Einen guten Kompromiß bietet die Anordnung D, bei der die Punkte mit gleichem Steuerwort maximalen Abstand voneinander haben. Man kann sie mit geringem Aufwand durch einen Bildpunktzähler erzeugen, der am Zeilenanfang in Abhängigkeit von der Zeilennummer auf einen bestimmten Wert gesetzt wird.

A	1	2	3	4	5	6	7	8	B	1	2	3	4	5	6	7	8
	1	2	3	4	5	6	7	8		2	3	4	5	6	7	8	1
	1	2	3	4	5	6	7	8		3	4	5	6	7	8	1	2
	1	2	3	4	5	6	7	8		4	5	6	7	8	1	2	3
	1	2	3	4	5	6	7	8		5	6	7	8	1	2	3	4
	1	2	3	4	5	6	7	8		6	7	8	1	2	3	4	5
	1	2	3	4	5	6	7	8		7	8	1	2	3	4	5	6
	1	2	3	4	5	6	7	8		8	1	2	3	4	5	6	7
C	3	1	6	2	7	1	5	7	D	1	2	3	4	5	6	7	8
	8	4	5	3	8	6	3	2		6	7	8	1	2	3	4	5
	4	8	2	6	4	7	3	4		3	4	5	6	7	8	1	2
	5	3	7	4	6	1	1	2		8	1	2	3	4	5	6	7
	7	4	2	8	5	3	8	4		5	6	7	8	1	2	3	4
	1	6	8	6	3	1	6	7		2	3	4	5	6	7	8	1
	5	3	5	1	4	8	2	2		7	8	1	2	3	4	5	6
	7	5	6	2	7	1	5	8		4	5	6	7	8	1	2	3

TAB.5.8 STRATEGIEN DER STEUERCODEWORT-ERZEUGUNG

5.4 Schaltungsrealisierung des Differenz-MPZ-Verfahrens

Ersetzt man den strichpunktierten Block in Abb. 5.1 durch die erweiterte Anordnung nach Abb. 5.9, erhält man das Blockschaltbild für das Differenz-Verfahren. Der Konzentrador liefert an seinen Ausgängen $Y_1, \dots, Y_8$ wieder die Information, die codiert zum Quellendecodierer der Empfangsseite übertragen werden soll. Die gleiche Information erhält auch der Block "Referenzwert", der daraus wie die Empfänger deren augenblickliche Helligkeitswerte

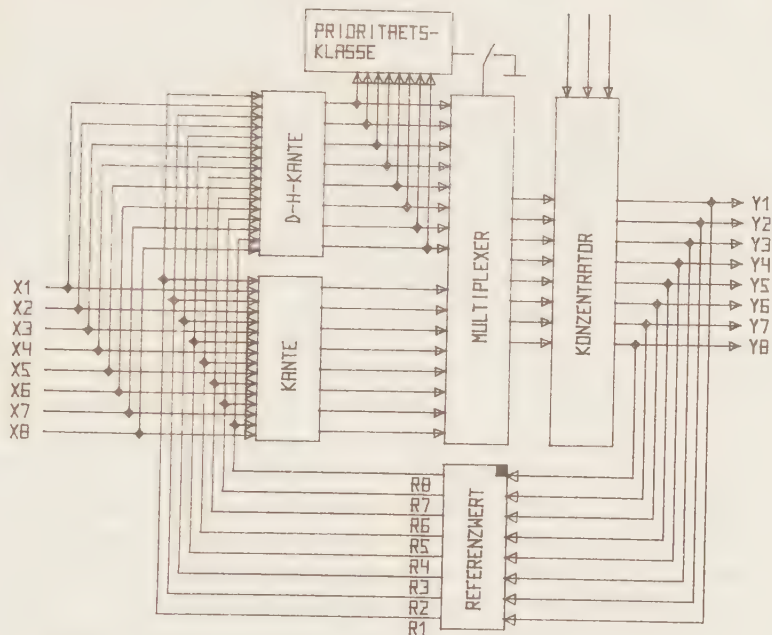


ABB.5.9 MODIFIZIERUNG DES EXPERIMENTIERGERÄTS
ZUR REALISIERUNG DES DIFFERENZ-VERFAHRENS

rekonstruiert und speichert. Durch Vergleich des gespeicherten Wiedergabepunktes R mit dem jeweiligen Abtastwert X des örtlich folgenden Punktes wird in jedem Teilnehmerkanal gleichzeitig entschieden, ob sich der Helligkeitswert des folgenden Empfängerpunktes ändern und deshalb Übertragungsbedarf am Konzentrator angemeldet werden soll.

Es sind die beiden in Kap.4.4.1 beschriebenen Varianten realisiert.

Bei Variante 1, bei der beide Kantenarten, nämlich Dunkel-Hell- und Hell-Dunkel-Kanten gleichberechtigt sind, entstehen im Empfängerbild gleich viele weiße und schwarze Fehler. Der Multiplexer schaltet dabei die vom Block "Kante" gelieferten Signale durch. Die Bevorzugung der Dunkel-Hell-Kantensprünge in Variante 2 läßt sich mit den zwei zusätzlichen Blöcken "D-H-Kante" und "Prioritätsklasse" realisieren. Sie sorgen dafür, daß erst sämtliche augenblicklich anstehenden Dunkel-Hell-Kanten abgearbeitet werden, bevor auch die Hell-Dunkel-Kanten an die Reihe kommen.

Die Übertragung der Kanten statt der Originalpunkte kann als "digitale Differentiation" bezeichnet werden. Zur Rekonstruktion der ursprünglichen Vorlage ist deshalb im Quellendecodierer eine "digitale Integration" nötig, die durch ein T-Flipflop realisiert wird (ohne Abb.). Alle anderen Blöcke sind die gleichen wie beim direkten Verfahren, ausgenommen der Block "Schwarzauffüllung", der beim Differenz-Verfahren sinnlos ist und deshalb nicht benutzt wird.

5.5 Schaltungsrealisierung des Interframe-MPZ-Verfahrens

Die gesamte Experimentiereinrichtung kann in vier Hauptblöcke eingeteilt werden (Abb.5.10): In der Bedarfs-ermittlung werden aus dem digitalisierten Kamerasignal die signifikanten Punkte gewonnen und der Verarbeitungsgeschwindigkeit des Quellencodierers angepaßt, der sie für die Übertragung mit reduziertem Nachrichtenvolumen aufbereitet. Im empfängerseitigen Quellendecodierer wird aus den empfangenen Daten ein Bild rekonstruiert, das auf einem Monitor wiedergegeben werden kann. Zur direkten Synchronisierung dieser drei Blöcke dient wie-

der die in Abschnitt 5.3.1 beschriebene Taktzentrale, die sämtliche erforderlichen Informationen über die Lage des augenblicklich abgetasteten Punktes liefert.

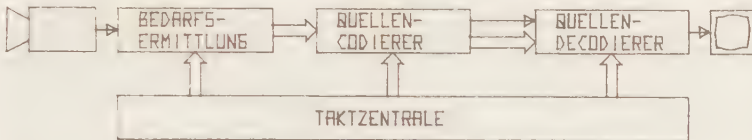


ABB.5.10 BLOCKSCHALTBILD DES INTERFRAME-MPZ-AUFBAUS

5.5.1 Bedarfsermittlung

Das von der Kamera gelieferte Signal wird in zwei Helligkeitsstufen quantisiert und in Abständen von 500 ns abgetastet. Für manche Verarbeitungsschritte werden zwei komplette Lese-Schreib-Zyklen der im Quellencodierer und im Quellendecodierer verwendeten Schreib-Lese-Speicher benötigt, die Zugriffszeiten bis zu $1 \mu\text{s}$ besitzen. Die abgetasteten Punkte werden deshalb einem Serien-Parallel-Wandler zugeführt (Abb. 5.11), der an seinen Ausgängen acht aufeinanderfolgende Abtastwerte gleichzeitig zur Weiterverarbeitung zur Verfügung stellt. Eine Zeile mit 256 Bildpunkten wird dadurch in 32 Verarbeitungsintervalle zu je $4 \mu\text{s}$ eingeteilt (Abb. 5.12). Alle Abtastwerte werden dann in einem $8 \cdot 8$ kbit-Schieberegister um die Dauer eines Vollbildes verzögert (Abb. 5.11) und anschließend mit den aktuellen Abtastwerten verglichen. Unterschiede entstehen durch den Helligkeitswechsel eines ortsfesten Punktes zwischen den Abtastungen zweier

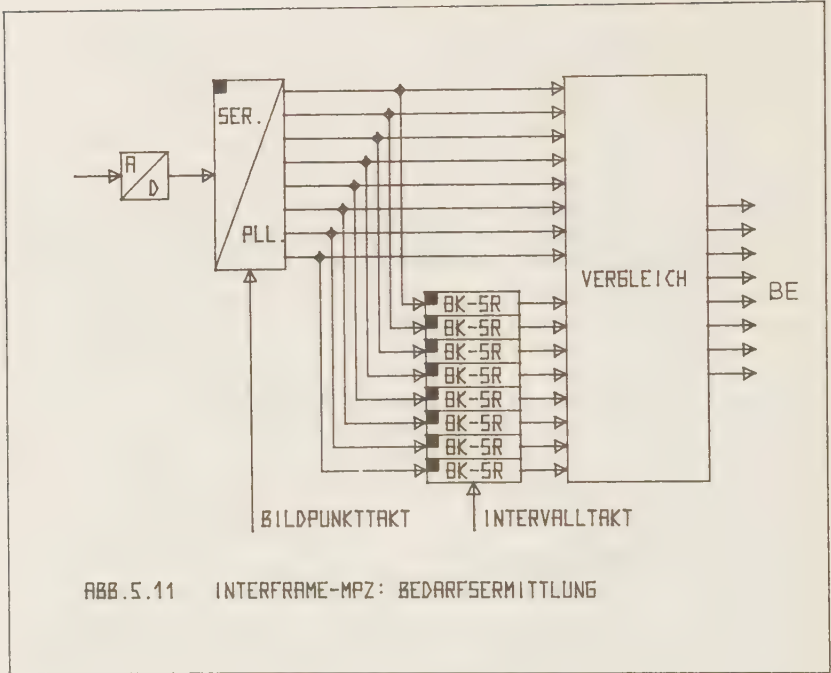


ABB.5.11 INTERFRAME-MPZ: BEDARFSEMITTLUNG

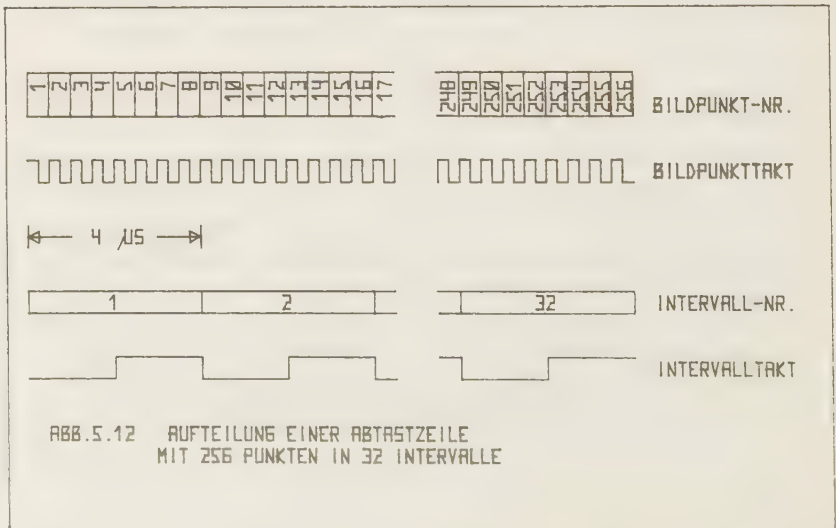


ABB.5.12 AUFTEILUNG EINER ABTASTZEILE MIT 256 PUNKTEN IN 32 INTERVALLE

aufeinanderfolgender Vollbilder und werden als ermittelter Bedarf an den Quellencodierer gemeldet.

5.5.2 Quellencodierer

Der Vollbildspeicher des Quellencodierers (Abb. 5.13, Mitte) besteht (ebenso wie der Speicher des Quellencodierers in Abb. 5.18) aus 64 Speicherblöcken zu je 1024 bit und enthält für jeden Punkt der Bildfläche einen Speicherplatz, der die beiden Zustände "frei" oder "belegt" annehmen kann. Abb. 5.14 zeigt als Zustandsdiagramm, welche möglichen Zustände in einem Speicherzellenpaar auftreten können und durch welche Ereignisse sie ineinander übergeführt werden.

Die Belegung eines Speicherplatzes (Zustände ②, ④) bedeutet, daß der betreffende Punkt im Original OR augenblicklich einen anderen Helligkeitswert besitzt als im rekonstruierten Bild EM. Der belegte Speicherplatz meldet bei Abfragen solange immer wieder Übertragungsbedarf an, bis eines von zwei möglichen Ereignissen das Löschen seiner Belegung auslöst: Wählt der Konzentrator diesen Speicherplatz zur Übertragung aus (Übergänge ② → ③ oder ④ → ①), wird der betreffende Helligkeitswert im Wiederholpeicher EM des rekonstruierten Bildes geändert und dadurch mit dem Original OR in Übereinstimmung gebracht. Durch eine Rückmeldung der Konzentratorauswahl wird die Belegung des übertragenen Speicherplatzes gelöscht. Eine Übereinstimmung kann aber auch erzielt werden, wenn das Originalbild seinen Helligkeitswert zum zweitenmal ändert, bevor die erste Änderung übertragen werden konnte (Übergänge ② → ① oder ④ → ③). Auch dann wird die Belegung wieder gelöscht, die durch die erste Änderung veranlaßt worden war.

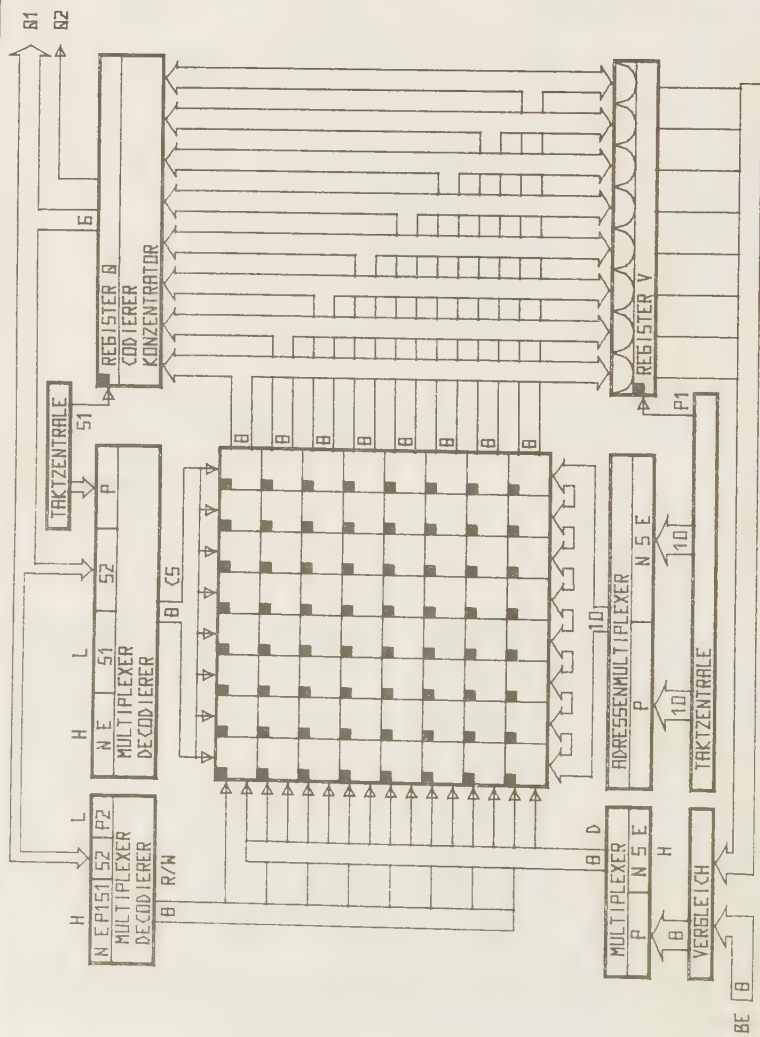


ABB. 5.13 INTERFRAME-MPZ: QUELLENCODIERER (SYMBOL 5.ABB. 5.15/ 5.16)

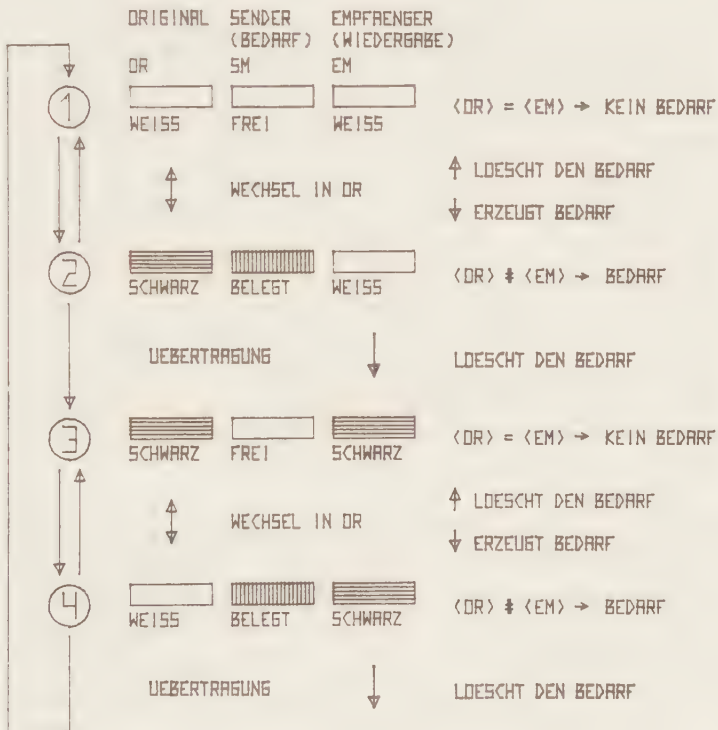


ABB.5.14 ZUSTANDSDIAGRAMM FÜR EIN SPEICHERZELLENPAAR
AUS BEDARFS- UND WIEDERGABESPEICHER

Der zeitliche Ablauf dieser Vorgänge soll jetzt etwas näher betrachtet werden (Abb. 5.13, 5.15 und 5.16). Im Teilintervall P1 (alle Zeitabschnitte, in denen das Signal P1 aktiv ist) werden von den Multiplexern die Eingänge durchgeschaltet, die in Abb. 5.13 mit "P1" bzw. "P" beschriftet sind. Der Zeilendecodierer (oben links) liefert also Lesesignale (H = Lesen, L = Schreiben) an alle 8 Speicher-Zeilen (64 Blöcke), der Spaltendecodierer (oben Mitte) bestimmt 1 Spalte (8 Blöcke) und der Adressenmultiplexer 1 Speicherplatz in jedem dieser 8 Blöcke, dessen Belegung ausgelesen und im Register V zwischengespeichert wird. Diese gespeicherten Werte werden im Teilintervall P2 mit den Daten BE verglichen, die von der Bedarfsermittlung geliefert werden. Die Ergebnisse dieses Vergleichs werden über die Dateneingänge D in die eben gelesenen Speicherplätze eingeschrieben. In jedem P-Intervall können also 8 Speicherzellen ihren Belegungszustand auffrischen (Übergänge ① $\longleftrightarrow$ ② oder ③ $\longleftrightarrow$ ④ in Abb. 5.14), bei 256 Abtastzeilen mit je 32 P-Intervallen kommt somit jede Speicherzelle genau einmal pro Vollbild an die Reihe.

Im Teilintervall S1 werden 64 Speicherplätze (aus jedem Speicherblock einer) gleichzeitig abgefragt und dem Konzentrator angeboten, der einen der belegten auswählt, für die Übertragung als Q1 codiert und im Register Q zwischenspeichert. Im Teilintervall S2 wird das Codewort Q1 für den ausgewählten Block über Zeilen- und Spaltendecodierer zurückgemeldet und daraufhin die Belegung des betreffenden Speicherplatzes gelöscht. (Übergänge ② $\longrightarrow$ ③ oder ④ $\longrightarrow$ ① in Abb. 5.14). War keiner der 64 abgefragten Plätze belegt, wird dies auf einer gesonderten Leitung Q2 gemeldet. In diesem Fall kann ein beliebiger davon gelöscht werden.

Die Anzahl der Abfragen und damit der S-Intervalle kann in weiten Bereichen variiert werden. Im Versuchsaufbau



ABB.5.15 AUFTEILUNG EINER ABTASTZEILE IN TEILINTERVALLE
■ BEDEUTET "AKTIVER ZUSTAND"

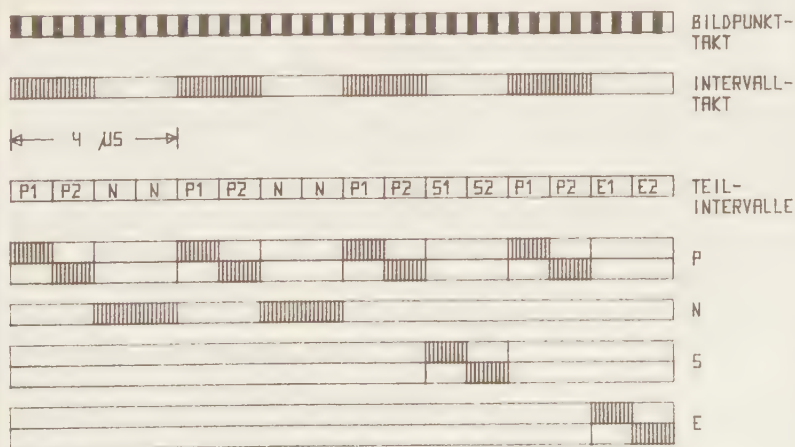


ABB.5.16 AUSSCHNITT AUS ABB.5.15

sind fünf Varianten realisiert, die in Tab. 5.17 zusammengestellt sind. Im Beispiel der Abb. 5.15 wird pro Zeile 4 mal abgefragt, also 1024 mal pro Vollbild (Geschwindigkeit III in Tab. 5.17).

GESCHWINDIGKEIT	ABFRAGEN (5/E-INTERVALLPAARE)		MAX. REKONSTRUKTIONSDAUER (BEI GLEICHZEITIGEM ENDE DER BEWEGUNG)	
	/ZEILE	/VOLLBILD	[VOLLBILDER]	[S]
I	1	256	256	10.24
II	2	512	128	5.12
III	4	1024	64	2.56
IV	8	2048	32	1.28
V	16	4096	16	0.64

TAB.5.17 ÜBERTRAGUNGSGESCHWINDIGKEITEN UND
MAXIMALE REKONSTRUKTIONSZEITEN

Die Ergebnisse in Kap. 6.3 beziehen sich auf diesen Fall, bei dem jeder Speicherplatz einmal pro Vollbild an einer Abfrage beteiligt ist. Das bedeutet gleichzeitig, daß eine Vorlage spätestens 64 Vollbilder nach Beendigung einer Bewegung vollständig rekonstruiert ist, wenn sämtliche 64 Blöcke an der Bewegung beteiligt waren und diese gleichzeitig beendeten. Waren weniger Blöcke beteiligt, erfolgt die Rekonstruktion entsprechend schneller.

Die Identifizierung eines von 64 Speicherblöcken erfordert ein 6 bit-Codewort, die Adressierung einer bestimmten Speicherzelle in diesem Block weitere 10 bit. Der Konzentrator wurde, angepaßt an die Organisation des Speichers, so ausgelegt, daß er 64 Belegungen gleichzeitig abfragen kann. Übertragen wird dann das 6 bit-Wort des ausgewählten Blocks, während die einzelnen Zellen nacheinander adressiert werden und zwar synchron im Quellencodierer und im Quellendecodierer, so daß eine Übertragung dieser 10 bit-Adresse nicht nötig ist.

5.5.3 Quellendecodierer

Der Quellendecodierer benutzt ein empfangenes 6 bit-Wort Q1 zur Auffrischung eines Punktes des gespeicherten rekonstruierten Bildes (Abb. 5.18). Zu diesem Zweck wird im Teilintervall E1 aus den 8 Speicherblöcken einer Spalte der Inhalt der augenblicklich adressierten Zellen ausgelesen und im Register V zwischengespeichert. Im Teilintervall E2 wechselt dann die Zelle des durch Q1 adressierten Blocks ihren Inhalt. Mel- den Q2, daß es sich um eine "Scheinübertragung" handelt, daß also keiner der abgefragten Senderblöcke belegt war, wird der alte Inhalt über D wieder eingeschrieben und im Empfängerspeicher nichts verändert.

Zur Wiedergabe auf dem Monitor wird der Speicherinhalt wiederholt ausgelesen. Dazu werden in jedem Teilintervall P gleichzeitig 8 Speicherzellen einer Spalte abgefragt. Das Ergebnis wird im Parallel-Serien-Wandler zwischengespeichert, bevor die einzelnen Punkte nacheinander auf dem Monitor wiedergegeben werden.

Bei der Betrachtung der einzelnen Schaltungsblöcke sieht man, daß für den experimentellen Aufbau des Interframe-MPZ-

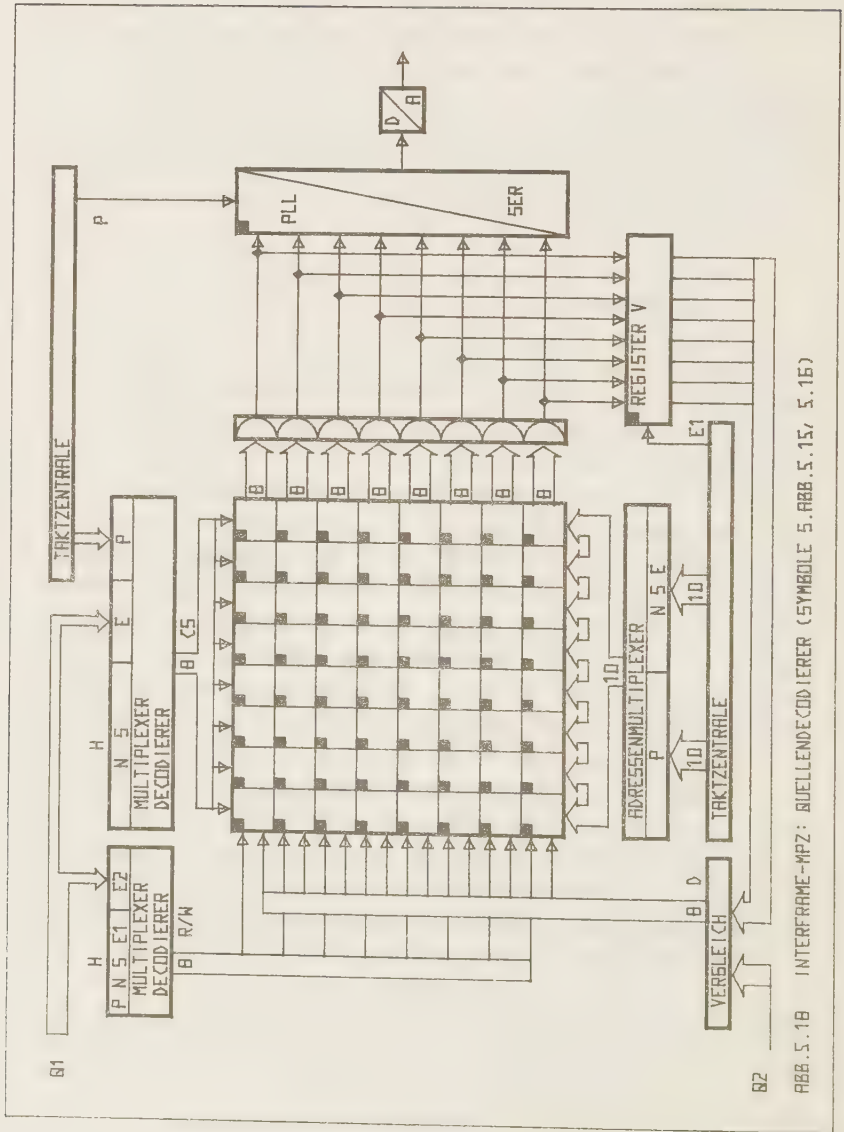


ABB. 5.1B INTERFRAME-MPZ: QUELLENDECODIERER (SYMBOLS 5.ABB. 5.15/ 5.16)

Systems drei komplette Vollbildspeicher verwendet wurden, nämlich ein serieller Speicher in der Bedarfsermittlung und je ein Speicher mit wahlfreiem Zugriff im Quellencodierer und im Quellendecodierer. Einer dieser Speicher diente jedoch (ähnlich wie bei den Intraframe-Verfahren) zur Einsparung von NA-1 Abtasteinrichtungen und wird deshalb bei realen Systemen nicht benötigt. Einen zweiten Speicher kann man einsparen, wenn man die Teilnehmerendeinrichtungen zwischen Sende- und Empfangsbetrieb umschaltbar macht und für beide Betriebsarten denselben Speicher verwendet.

6. Ergebnisse

In diesem Kapitel soll für die verschiedenen Verfahren und ihre einzelnen Varianten jeweils die gemessene Fehlerrate dargestellt und mit der berechneten verglichen werden. Außerdem soll ein Zusammenhang hergestellt werden zwischen dieser objektiven Fehlerrate und der subjektiven Qualität der rekonstruierten Vorlage.

6.1 Direktes MPZ-Verfahren

Abb. 6.1 A zeigt die amplitudenquantisierte Vorlage, an der die Messungen für die beiden Intraframe-Verfahren durchgeführt wurden und Abb. 6.1 B dieselbe Vorlage nach der Zeitquantisierung. Ein Großbuchstabe ist dabei etwa 15 Fernsehzeilen hoch. Die Vorlage wurde, wie in Kap. 5.3 beschrieben, in 8 Bereiche mit je 32 Abtastzeilen aufgeteilt. Diese Bereiche wurden dann als unabhängige Quellen betrachtet und im Konzentrator gemeinsam verarbeitet. Durch Abzählen der schwarzen Punkte des Originalbildes wurde der Schwarzwert in sechs Bereichen als $S=0.13$, in zwei Bereichen als $S=0$ ermittelt.

Abb. 6.1 C gibt einen Eindruck von den Auswirkungen der typischen MPZ-Fehler auf die subjektive Qualität des rekonstruierten Bildes. Das Kantenrauschen, das besonders bei Zweitontvorlagen stark in Erscheinung tritt, und das speziell beim MPZ-Verfahren ein (subjektiv günstigeres) "eingefrorenes" Fehlermuster verhindert, kann allerdings auf den Fotos nicht gezeigt werden, es hätte bei der fotografischen Mittelung über mehrere Vollbilder nur ein "Verwaschen" der Kanten und der Fehlerpunkte zur Folge. Das Experimentiergerät wurde deshalb so eingerichtet, daß der vorhandene Vollbildspeicher auf Knopfdruck ein einzelnes Vollbild beliebiger Herkunft über-

Das ist das Verhängnis :
Zwischen Empfängnis
Und Leichenbegängnis
Nichts als Bedrängnis.

Erich Kästner

A) ORIGINAL;
AMPLITUDENQUANTISIERT

Das ist das Verhängnis :
Zwischen Empfängnis
Und Leichenbegängnis
Nichts als Bedrängnis.

Erich Kästner

B) ORIGINAL;
AMPLITUDEN- UND ZEITQUANTISIERT

Das ist das Verhängnis :
Zwischen Empfängnis
Und Leichenbegängnis
Nichts als Bedrängnis.

Erich Kästner

C) REKONSTRUKTION
OHNE SCHWARZAUFFÜLLUNG

Das ist das Verhängnis :
Zwischen Empfängnis
Und Leichenbegängnis
Nichts als Bedrängnis.

Erich Kästner

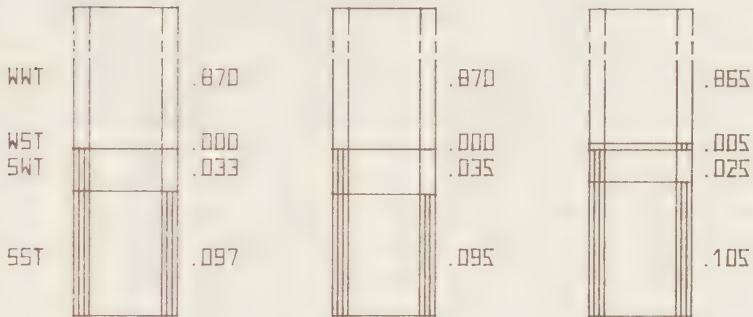
D) REKONSTRUKTION
MIT SCHWARZAUFFÜLLUNG

nehmen und "einfrieren" kann. Diese rauschfreien Bilder wurden dann wiederholt ausgelesen und dabei abfotografiert.

Die Fehlerrate $F=SWT$ wurde bestimmt, indem die schwarzen Punkte des rekonstruierten Bildes abgezählt und mit der Anzahl der schwarzen Originalpunkte verglichen wurden. Da Original und Rekonstruktion nicht gleichzeitig eingefroren werden konnten, mußte jeweils über mehrere Vollbilder gemittelt werden, um den Einfluß des Kantenrauschens auf die Meßergebnisse zu reduzieren. Im rekonstruierten Bild der Abb. 6.1 C fehlen global $F=3.3\%$ aller Punkte (bei $S=0.13$ sind dies $F/S=25.4\%$ der ursprünglich schwarzen Punkte), lokal sogar bis zu 5.2% (40% der schwarzen Punkte). Abb. 6.2 A zeigt die gemessene Zustandsverteilung dieser Vorlage, Abb. 6.2 B zum Vergleich die Zustandsverteilung, die man durch Rechnung für 6 Quellen und $S=0.13$ gewinnt. Der Unterschied kommt dadurch zustande, daß die Schwarzverteilung der Vorlage nicht völlig zufällig ist, wie es für die Rechnung vorausgesetzt war. Der Kompressionsfaktor für $N=8$ Quellen beträgt $K=2.33$.

Abb. 6.1 D zeigt dieselbe Vorlage, wenn auf die fehlerbehaftete Rekonstruktion nach Abb. 6.1 C nachträglich die in Kapitel 4.3.1 beschriebene Schwarzauffüllung angewandt wird. Alle weißen Punkte, die horizontal von zwei schwarzen Punkten umgeben sind, werden dabei in schwarze umgewandelt. Der gemessene Schwarzwert $SST+WST$ des rekonstruierten Bildes steigt durch diese Maßnahme von 0.099 auf 0.110 (Abb. 6.2 C). Eine Verbesserung der subjektiven Qualität konnte jedoch bei dieser Vorlage nicht erzielt werden.

In Abb. 6.3 ist an einem Beispiel der ebenfalls in Kap. 4.3.1 beschriebene Effekt des Nebensehens dargestellt. Die Vor-



A) MESSUNG

B) RECHNUNG

C) MESSUNG

OHNE SCHWARZ-
AUFFUELLUNG

OHNE SCHWARZ-
AUFFUELLUNG

MIT SCHWARZ-
AUFFUELLUNG

ABB.6.2 DIREKTES MPZ; ZUSTANDSVERTEILUNG
DER REKONSTRUIERTEN VORLAGE

A) AUS ABB.6.1 C

C) AUS ABB.6.1 D

lage ist so gewählt, daß die Auswirkungen besonders deutlich zu sehen sind. Abb. 6.3 A zeigt das amplituden- und zeitquantisierte Original, aufgeteilt in drei Bereiche (drei Quellen), von denen in jedem Abtastintervall höchstens zwei Übertragungsbedarf anmelden. Beim rekonstruierten Bild (Abb. 6.3 B) fehlen dann im mittleren Bereich 50 % der schwarzen Punkte. Die Übertragenen 50 % erscheinen in den schwarzen Flächen der Nachbarbereiche Punkt für Punkt als Unterdrückung. Abb. 6.3 C zeigt, wie man das Nebensehen durch Schwarzauffüllung verringern kann. Gleichzeitig sieht man, daß die Effektivität dieser Schwarzauffüllung davon abhängt, nach welchen Regeln die Steuercodeworte für den Konzentrador gebildet werden. Zwischen Quelle 1 und Quelle 2 dieser Vorlage wechselt die Priorität beispielsweise nach jedem vierten Punkt. Dadurch entstehen beim Empfänger 1 viele weiße Runs der Länge $2 \leq \text{RLW} \leq 4$, die durch die Schwarzauffüllung nicht beseitigt werden können. Zwischen Quelle 2 und Quelle 3 wechselt die Priorität jedoch nach jedem Punkt; die einzelnen weißen Punkte beim Empfänger 3 können alle unterdrückt werden.

6.2 Differenz-MPZ-Verfahren

Wie beim direkten Verfahren sollen auch hier gemessene und berechnete Werte der Fehlerrate verglichen und eine Beziehung zur subjektiven Qualität hergestellt werden. Für das Differenz-Verfahren wurde die gleiche Vorlage (Abb. 6.1 B, 6.4 A) verwendet und in ebenso viele Bereiche aufgeteilt. Man erhält dadurch den gleichen Kompressionsfaktor und kann die Ergebnisse unmittelbar mit denen des direkten Verfahrens vergleichen.

			QUELLE 1
Ich weiß, daß ich nichts weiß			QUELLE 2
			QUELLE 3

A) ORIGINALE (3 QUELLEN)

			EMPFÄNGER 1
Ich weiß, daß ich nichts weiß			EMPFÄNGER 2
			EMPFÄNGER 3

B) REKONSTRUKTION (3 QUELLEN) MIT NEBENSEH-EFFEKT

			
Ich weiß, daß ich nichts weiß			
			

C) NEBENSEH-UNTERDRÜCKUNG DURCH SCHWARZAUFFÜLLUNG

Das ist das Verhängnis :
Zwischen Empfängnis
Und Leichenbegängnis
Nichts als Bedrängnis.

Erich Kästner

A) ORIGINAL

Das ist das Verhängnis :
Zwischen Empfängnis
Und Leichenbegängnis
Nichts als Bedrängnis.

Erich Kästner

C) REKONSTRUKTION;
GLEICHBERECHTIGTE KANTEN

Das ist das Verhängnis :
Zwischen Empfängnis
Und Leichenbegängnis
Nichts als Bedrängnis.

Erich Kästner

B) KANTENPUNKTE

Das ist das Verhängnis :
Zwischen Empfängnis
Und Leichenbegängnis
Nichts als Bedrängnis.

Erich Kästner

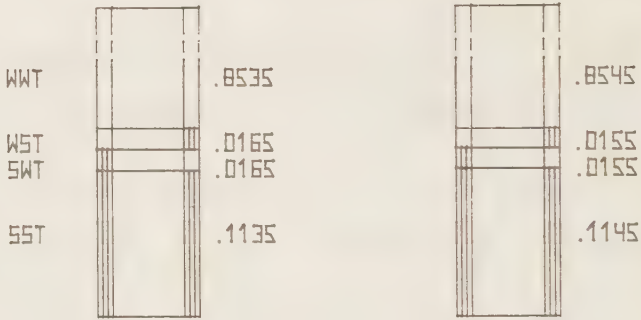
D) REKONSTRUKTION;
BEVORZUGTE
DUNKEL-HELL-KANTEN

Abb.6.4 vermittelt einen Eindruck von der Qualität, die sich mit dem Differenz-MPZ-Verfahren erreichen läßt. Dargestellt sind

- A) die amplituden- und zeitquantisierte Originalvorlage mit einem Schwarzwert $S=0.13$ und einer mittleren schwarzen Runlänge $RLS=2.5$,
- B) die Kantenpunkte der Vorlage (Schwarzwert $SD=0.104$),
- C) das rekonstruierte Bild, wenn bei der Prioritätsentscheidung beide Kantenarten gleichberechtigt sind (Variante 1), und
- D) das rekonstruierte Bild, wenn bei der Prioritätsentscheidung die Dunkel-Hell-Kanten bevorzugt werden (Variante 2).

In Abb.6.5 sind die Zustandsverteilungen für die rekonstruierten Bilder dargestellt. Zur meßtechnischen Ermittlung der einzelnen Fehleranteile, die in Abb.6.5 A und C aufgetragen sind, wurden die schwarzen Punkte des Originals und der Rekonstruktion sowie die Punkte ihrer Durchschnittsmenge abgezählt. Die Herleitung der berechneten Zustandsverteilungen (Abb.6.5 B und D) wurde in Kap.4.4.2 beschrieben. Bei beiden Varianten werden etwa gleich viele Fehler erzeugt; mit Variante 2 läßt sich jedoch eine subjektiv bessere Qualität erreichen, da weiße Fehler weniger störend empfunden werden als schwarze. Der Kompressionsfaktor beträgt auch hier wieder $K=2.33$. Die geringe Abweichung der Rechen- von den Meßergebnissen kommt daher, daß bei der Rechnung die weißen Ränder der Vorlage nicht berücksichtigt wurden.

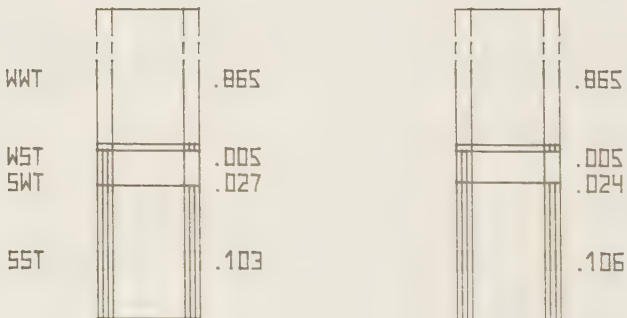
Vergleicht man die Ergebnisse des Differenz-Verfahrens mit denen des direkten Verfahrens, kann man für diese spezielle Vorlage weder eine deutliche Verbesserung noch eine deutliche Verschlechterung der subjektiven Qualität feststellen, die sich jedoch für andere Vorlagen (mit anderem S oder anderem RLS) durchaus ergeben können.



A) VARIANTE 1
MESSUNG

B) VARIANTE 1
RECHNUNG

BEIDE KANTENARTEN GLEICHBERECHTIGT



C) VARIANTE 2
MESSUNG

D) VARIANTE 2
RECHNUNG

DUNKEL-HELL-KANTEN BEVORZUGT

ABB.6.5 DIFFERENZ-MPZ; ZUSTANDSVERTEILUNG
DER REKONSTRUIERTEN VORLAGE

A) AUS ABB.6.4 C

C) AUS ABB.6.4 D

Somit verbleibt als Vorteil des Differenz-Verfahrens lediglich die Eigenschaft, daß der Nebenseffekt des direkten Verfahrens vermieden wird.

6.3 Interframe-MPZ-Verfahren

6.3.1 Durchführung der Messungen

Zur Aufnahme der Zustandsverteilungen wurden sämtliche Speicherzellen nach jedem Übertragungszyklus abgefragt, nach den vier verschiedenen Zuständen sortiert und abgezählt. Aus gerätetechnischen Gründen war eine Aufnahme in Echtzeit nicht möglich. Die kontinuierliche Bewegung wurde deshalb in Einzelschritte zerlegt, die Vorlage wurde vor jedem Abtastzyklus von Hand so weit verschoben, daß sich der gewünschte Wert von MA ergab. Anschließend wurden nacheinander ein einzelner Abtastzyklus und ein einzelner Übertragungszyklus ausgelöst, die Zustände abgezählt, die Vorlage weiter verschoben usw.

Das Ende der Bewegung einer Vorlage wurde dadurch nachgebildet, daß der NA-te Teil der Bildfläche nach dem Zeitpunkt T2 elektronisch von der Abtastung ausgeschlossen, daß also die betroffenen Abtastspeicherzellen nicht mehr neu belegt werden konnten. Gezählt und ausgewertet wurden nur die Zustände dieses Speicherbereichs.

6.3.2 Darstellung der subjektiven Qualität

Bildschirmfotos sind ein brauchbares Mittel, wenn man die subjektive Qualität stehender Fernsehbilder miteinander vergleichen will. Ihr Wert für die absolute Beurteilung eines Verfahrens ist dagegen schon fraglich. Vollkommen

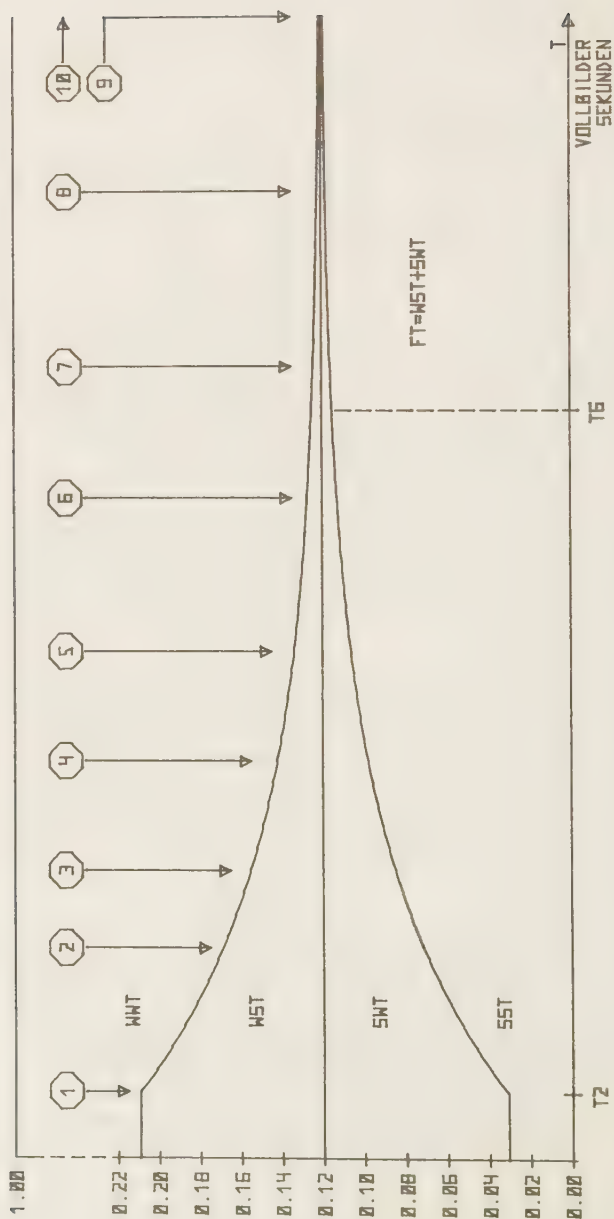


ABB. 5.6 ZUSAMMENHANG ZWISCHEN FEHLERRATE FT UND SUBJEKTIVER QUALITÄT;

↑ A SCHEMATISCHE ZUSTANDSVERTEILUNG

↓ B BILDSCHIRMFOTOS

①

FT =
0.176

②

FT =
0.098

③

FT =
0.073

④

FT =
0.043

⑤

FT =
0.026

⑥

FT =
0.015

⑦

FT =
0.008

⑧

FT =
0.004

⑨

FT =
0.002

⑩

FT =
0.000

In Hamburg lebten zwei Amelisen,
Die wollten nach Australien reisen.
Bei Aitona auf der Chaussee
Da taten ihnen die Beine weh,
Und da verzichteten sie weise
Dann auf den letzten Teil der Reise
Joachim Ringelnatz

In Hamburg lebten zwei Amelisen,
Die wollten nach Australien reisen.
Bei Aitona auf der Chaussee
Da taten ihnen die Beine weh,
Und da verzichteten sie weise
Dann auf den letzten Teil der Reise
Joachim Ringelnatz

In Hamburg lebten zwei Amelisen,
Die wollten nach Australien reisen.
Bei Aitona auf der Chaussee
Da taten ihnen die Beine weh,
Und da verzichteten sie weise
Dann auf den letzten Teil der Reise
Joachim Ringelnatz

In Hamburg lebten zwei Amelisen,
Die wollten nach Australien reisen.
Bei Aitona auf der Chaussee
Da taten ihnen die Beine weh,
Und da verzichteten sie weise
Dann auf den letzten Teil der Reise
Joachim Ringelnatz

In Hamburg lebten zwei Amelisen,
Die wollten nach Australien reisen.
Bei Aitona auf der Chaussee
Da taten ihnen die Beine weh,
Und da verzichteten sie weise
Dann auf den letzten Teil der Reise
Joachim Ringelnatz

In Hamburg lebten zwei Amelisen,
Die wollten nach Australien reisen.
Bei Aitona auf der Chaussee
Da taten ihnen die Beine weh,
Und da verzichteten sie weise
Dann auf den letzten Teil der Reise
Joachim Ringelnatz

In Hamburg lebten zwei Amelisen,
Die wollten nach Australien reisen.
Bei Aitona auf der Chaussee
Da taten ihnen die Beine weh,
Und da verzichteten sie weise
Dann auf den letzten Teil der Reise
Joachim Ringelnatz

In Hamburg lebten zwei Amelisen,
Die wollten nach Australien reisen.
Bei Aitona auf der Chaussee
Da taten ihnen die Beine weh,
Und da verzichteten sie weise
Dann auf den letzten Teil der Reise
Joachim Ringelnatz

In Hamburg lebten zwei Amelisen,
Die wollten nach Australien reisen.
Bei Aitona auf der Chaussee
Da taten ihnen die Beine weh,
Und da verzichteten sie weise
Dann auf den letzten Teil der Reise
Joachim Ringelnatz

unmöglich ist es jedoch, die Qualität bewegter Szenen gedruckt befriedigend darzustellen, wie es für Interframe-Verfahren nötig wäre. Man muß sich deshalb damit behelfen, die augenblickliche Qualität zu bestimmten Zeitpunkten durch eine Serie von Bildschirmfotos anzuzeigen, und die Fehlerrate, die zu diesen Zeitpunkten gerade auftritt, etwa als zeitabhängige Zustandsverteilung graphisch darzustellen. Abb. 6.6 soll diesen Zusammenhang zwischen objektiv meßbarer Fehlerrate und der subjektiven Qualität veranschaulichen. Dazu zeigt Abb. 6.6 A eine schematische Zustandsverteilung des Rekonstruktionsvorgangs eines Empfängerbildes, in der absichtlich kein Maßstab für die Zeitachse angegeben ist. Die in Abb. 6.6 B dargestellten unterschiedlichen Qualitätsstufen werden nämlich bei allen Rekonstruktionsvorgängen (mit beliebigen Parameter-Kombinationen NA, MA) durchlaufen, lediglich verschieden schnell. In Abb. 6.6 A sind die momentanen Zustandsverteilungen durch eingekreiste Zahlen markiert, mit denen auf die zugehörigen Bildschirmfotos der Abb. 6.6 B verwiesen wird.

6.3.3 Ergebnisse der Messungen

In Abb. 6.7 sind die Ergebnisse der Messungen für dieselben Parameter (verschiedene NA) und im gleichen Maßstab dargestellt wie die Ergebnisse der theoretischen Vorüberlegung in Kap. 4.5.3. Zum besseren Vergleich sind die berechneten Ergebnisse als einzelne Punkte noch einmal mit eingetragen. Ebenso zeigt Abb. 6.8 die Ergebnisse der Messung und der Rechnung für verschiedene MA. Der Schwarzwert, der bei den einzelnen Messungen zwischen 0.11 und 0.13 schwankte (der ausgewertete Speicherbereich enthielt nicht immer den gleichen Ausschnitt der Vorlage), wurde auf $S=0.12$ normiert, um einen leichteren Vergleich mit den berechneten Ergebnissen zu ermöglichen.

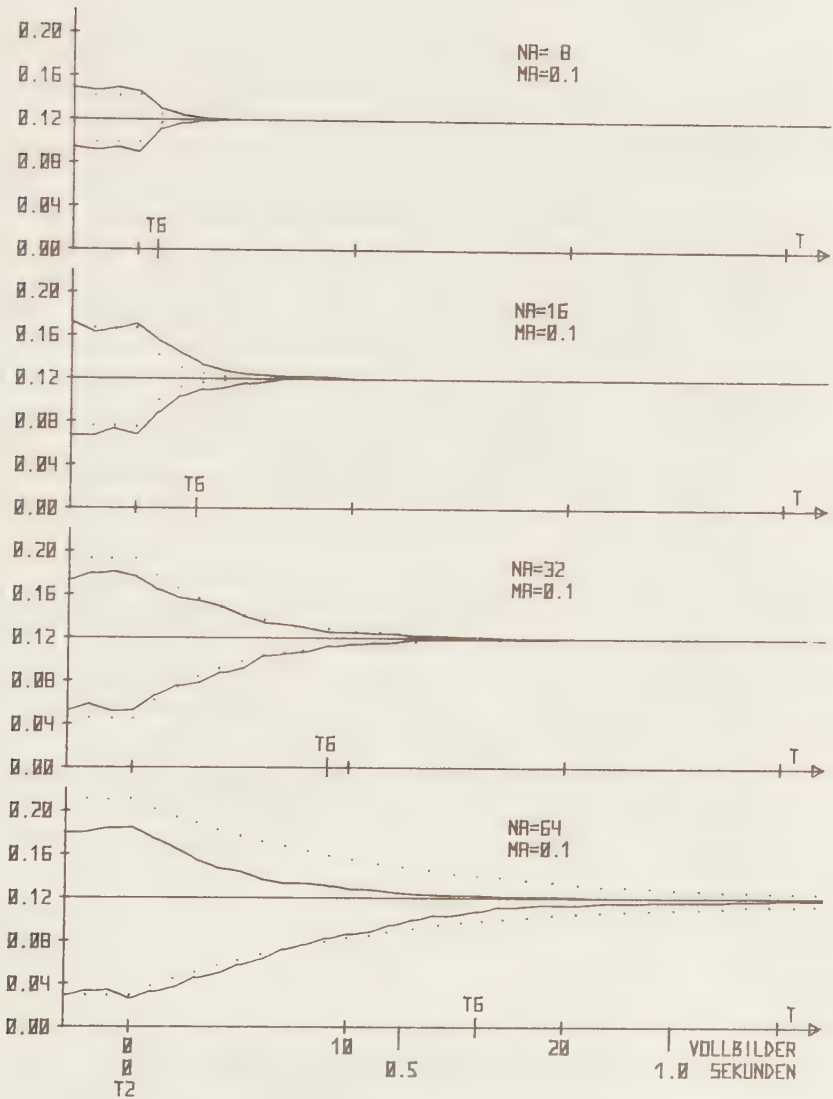


ABB. 6.7 GEMESSENE ZEITABHÄNGIGE ZUSTANDSVERTEILUNGEN
FÜR DAS INTERFRAME-MPZ-VERFAHREN

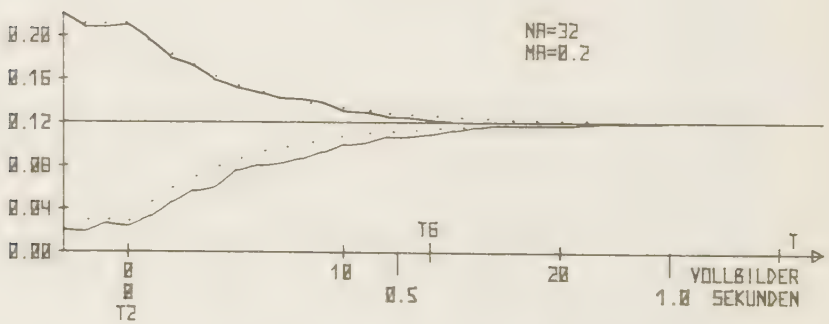
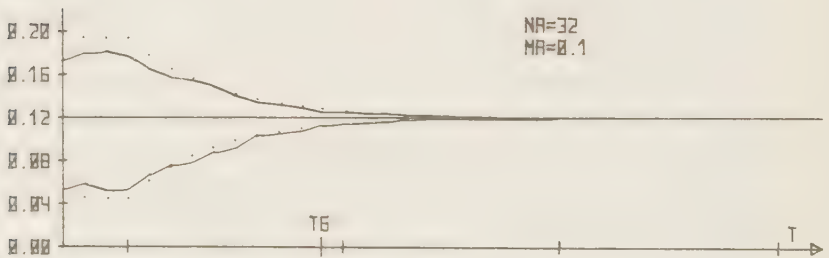
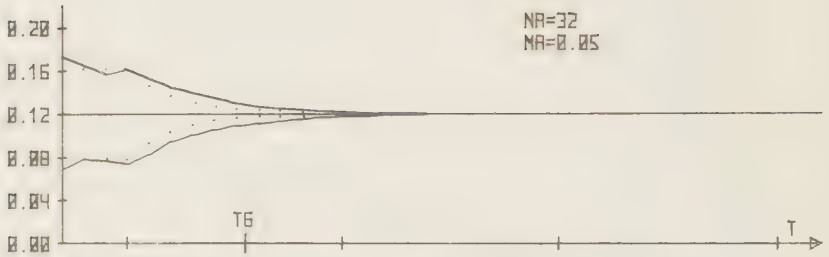


ABB. 6.8 GEMESSENE ZEITABHÄNGIGE ZUSTANDSVERTEILUNGEN
FÜR DAS INTERFRAME-MPZ-VERFAHREN

Die Abweichungen der berechneten und der gemessenen Kurven sind vor allem darauf zurückzuführen, daß der Bildausschnitt, dessen Rekonstruktionsvorgang durch die Meßkurven ausgedrückt wird, mit 1024 Punkten für statistische Messungen zu klein war. Obwohl jede einzelne Messung dreimal wiederholt und dann darüber gemittelt wurde, blieben die sichtbaren Abweichungen der Abb. 6.7 und 6.8 übrig. Die Unsymmetrie zwischen weißen und schwarzen Fehlern, die besonders in der Kurve für $NA=64$ deutlich zu sehen ist, kommt von einer Vernachlässigung im Hardware-Aufbau, die noch nicht erwähnt wurde. Zur Einsparung von Aufwand wurden nämlich die "Unter-Konzentratoren" (Konzentratoren 1...8 der Abb. 5.6) mit fester Prioritätsreihenfolge ihrer Eingänge realisiert. Bei $NA=8$ wirkt sich diese Vernachlässigung noch nicht aus, weil dabei nur die Eingänge höchster Priorität verwendet wurden.

Man sieht aus den Ergebnissen, daß die Zeit TG (S. auch Abb. 4.26), bis die Rekonstruktion eine gewisse Qualität erreicht hat, umso länger wird, je mehr Teilnehmer gleichzeitig aktiv sind (NA) und je heftiger sie ihre Vorlagen bewegen oder abändern (MA). Die Abhängigkeit von NA ist dabei wesentlich stärker; im Durchschnitt verdreifacht sich TG bei einer Verdoppelung von NA , während es sich bei einer Verdoppelung von MA höchstens ebenfalls verdoppelt.

7 Diskussion der Ergebnisse und Ausblick

7.1 Intraframe-MPZ-Verfahren

Bei einem realisierbaren Kompressionsfaktor K zwischen 2.0 und 2.5 bietet das direkte MPZ-Verfahren in seiner einfachsten Form eine gerade noch akzeptable Qualität. Der Vorteil des Verfahrens besteht in seinem geringen Schaltungsaufwand, der aber die systembedingten Nachteile, nämlich die bleibenden Fehler und den Nebenseheffekt im rekonstruierten Bild, kaum aufwiegen kann.

Die davon abgeleiteten Verfahren, direktes MPZ mit Schwarz-auffüllung und Differenz-MPZ, können den Effekt des Nebensehens weitgehend verhindern und bieten für Vorlagen mit höherem Schwarzwert und kleinerer örtlicher Auflösung gewisse Qualitätsverbesserungen. Mit gleichem Kompressionsfaktor können sie jedoch bei den meisten Vorlagen die Qualität kaum verbessern, bei speziellen Vorlagen kann sich sogar eine Qualitätsverschlechterung gegenüber dem einfachen direkten Verfahren ergeben.

Der Vorteil aller dieser Verfahren, daß sie ohne Pufferpeicher auskommen, verliert durch die fortschreitende Technologie der elektronischen Bauelemente immer mehr an Bedeutung. Dagegen dürfte der geringe Kompressionsfaktor den teilweise erheblichen Qualitätsverlust bei den möglichen Anwendungen (Übertragung in Echtzeit und Speicherung von Zweitonvorlagen) kaum rechtfertigen.

7.2 Interframe-MPZ-Verfahren

7.2.1 Allgemeine Eigenschaften

Im Gegensatz dazu erscheint das Interframe-MPZ-Verfahren wesentlich aussichtsreicher, obwohl zu seiner Realisierung pro Endstelle ein kompletter Vollbildspeicher und weiterer beträchtlicher Schaltungsaufwand benötigt werden.

Je nach geforderter Qualität lassen sich viele verschiedene Kompressionsfaktoren realisieren, die man durch Kombination mit dem Verfahren der langsamen Abtastung noch besser an die Kapazitäten vorhandener Übertragungskanäle anpassen kann.

Im rekonstruierten Bild treten keine bleibenden Fehler und deshalb auch keinerlei Nebenseffekte auf. Unbewegte Vorlagen stören keinen anderen Teilnehmer und können auch von keinem anderen gestört werden. Zur Einsparung wird die maximale zeitliche Auflösung bei der Übertragung stark begrenzt. Bewegte Vorlagen, die höhere zeitliche Auflösung erfordern, können deshalb nicht mehr fehlerfrei übertragen werden; es treten dynamische Fehler auf, die jedoch wieder abklingen, wenn die Vorlage langsamer bewegt wird oder zum Stillstand kommt. Das Verfahren nützt die Redundanz und die Irrelevanz der bewegten Vorlagen aus, um diese dynamischen Fehler schneller abklingen zu lassen als ein herkömmliches Vergleichsverfahren.

Eine Überbelegung des Systems durch statistische Kurzzeit- oder Langzeitschwankungen ist unkritisch. Sie bewirkt nämlich lediglich ein Ansteigen der Abklingzeitkonstante, d. h. eine graduelle Verschlechterung der

dynamischen Eigenschaften, die vom einzelnen Teilnehmer kaum bemerkt wird.

7.2.2 Mögliche Verbesserungen

Kantenpunkte der Originalvorlage mit mittlerer Helligkeit können durch kleine überlagerte Störspannungen bei aufeinanderfolgenden Abtastungen als weiß oder schwarz interpretiert werden. Das dadurch hervorgerufene "Kantenrauschen" (edge-busyness) erzeugt auch bei ruhenden Vorlagen einen ständigen Übertragungsbedarf und beeinträchtigt deshalb die Qualität bei allen Beteiligten. Durch zwei Methoden kann man dieses Kantenrauschen verringern:

1. Durch Einführung einer zeitlichen Bildpunkthysterese:
Der Eingangskomparator zieht zur Entscheidung, ob er den mittleren Grauwert eines Bildpunktes als weiß oder Schwarz klassifizieren soll, den gespeicherten Helligkeitswert aus dem vorhergehenden Vollbild mit heran. Diese Methode läßt sich allerdings nur bei genügend kontrastreichen Vorlagen anwenden.
2. Durch Einführung eines Bewegungsdetektors:
Dieser mißt laufend Schwarzwert S und Bewegungswert M . Sinkt der relative Bewegungswert M/S unter einen bestimmten Grenzwert, wird der Rest als Rauschen interpretiert und die Bewegung als beendet betrachtet. Der Abtastspeicher der betreffenden Quelle nimmt daraufhin solange keine neuen Abtastwerte mehr an, bis ein Anstieg von M/S über den Grenzwert den Beginn der nächsten Bewegung signalisiert.

Ein zusätzlicher "Rückmeldekanal" niedriger Bandbreite könnte das Übertragungssystem wesentlich komfortabler gestalten. Beispielsweise könnte der Empfänger eine von mehreren Qualitätsstufen mit unterschiedlichen Übertragungs-

kosten auswählen und daraufhin mehrere parallele Grundkanäle zugewiesen bekommen. Weiter ließe sich dieser Rückmeldekanal nutzbringend verwenden, wenn sich durch Übertragungsfehler auf dem Kanal bleibende Fehler im rekonstruierten Bild angesammelt haben, die bei einem reinen Differenz-Verfahren nie mehr korrigiert werden könnten. Der Empfänger könnte dann entweder das komplette Löschen von Abtast- und Wiedergabespeicher veranlassen oder den Befehl geben, auf "Langsame Abtastung" umzuschalten. Außerdem könnte der Empfänger durch diesen Rückmeldekanal von sich aus die Übertragung unterbrechen und damit den Inhalt seines Wiedergabespeichers "einfrieren", ohne daß der gemeinsame Anfangszustand von Abtast- und Wiedergabespeicher verlorengeht.

Eine Erhöhung des Reduktionsfaktors bei kaum merklichem Qualitätsverlust kann man erreichen, wenn man immer nur einen Teil aller Teilnehmer ($NB < N$) zur Übertragung zuläßt. In gewissen Zeitabständen, z. B. am Ende jedes Vollbildes, muß dazu dem Quellendecodierer mitgeteilt werden, um welche Teilnehmer es sich im folgenden Zeitabschnitt handelt. Die Auswahl der Teilnehmer kann beispielsweise nach ihrem augenblicklichen relativen Übertragungsbedarf FA/S so vorgenommen werden, daß in jedem Zeitabschnitt gleich viele Teilnehmer NB ausgewählt werden. Die restlichen $N-NB$ werden von der Übertragung ausgeschlossen. Damit bei ihnen keine Restfehler stehenbleiben, wird die getroffene Entscheidung erst nach einiger Zeit wirksam, in der die meisten dieser Restfehler noch übertragen werden können. Bei etwas verrauschten, aber unbewegten Vorlagen kann der Übertragungsbedarf eine bestimmte Grenze nicht überschreiten, bei langsam bewegten Vorlagen akkumuliert er jedoch und bewirkt irgendwann deren Zulassung zur Übertragung. Der Kompressionsfaktor wird dadurch von K auf KB erhöht, daß man zur Ver-

schlüsselung der NB Teilnehmerkennungen kürzere Codeworte verwenden kann.

$$KB = \frac{N-1}{ld\ NB} \quad \text{mit} \quad ld\ NB < ld\ N$$

7.2.3 Ausblick

Wenn die Schätzungen über die statistischen Eigenschaften der Quellen und über die geforderte Übertragungsqualität einigermaßen zutreffen, lassen sich mit dem Interframe-MPZ-Verfahren bei vergleichsweise guter Qualität große Kompressionsfaktoren erreichen. Für genauere Aussagen hierüber müßten allerdings noch umfangreiche statistische Messungen an einem installierten System sowie subjektive Tests zur Ermittlung der gerade noch annehmbaren Qualität durchgeführt werden.

Der Vollbildspeicher, der zur Realisierung pro aktivem Teilnehmer benötigt wird, stellt augenblicklich noch einen beträchtlichen Aufwand dar. Zur Serienreife des Systems sind deshalb noch weitere Fortschritte auf technologischem Gebiet erforderlich.

Anwendungsgebiete, für die das System besonders geeignet ist, finden sich bei der Übertragung von Zweiton-Festbildfolgen und bei der Abfrage gespeicherter Zweitonbilder über größere Entfernungen.

8. Zusammenfassung

Das direkte MPZ-Verfahren, ein bereits bekanntes Interframe-Verfahren zur Quellencodierung von Zweitonbildern [17], bildete die Grundlage für zwei neue Verfahren, die vorgestellt sowie theoretisch und experimentell untersucht wurden. Es handelt sich dabei um ein weiteres Intraframe-Verfahren, das Differenz-MPZ, und um ein Interframe-MPZ-Verfahren, die ebenfalls beide auf dem Prinzip der Multiplexübertragung mit momentaner Prioritätszuteilung beruhen.

Während die beiden Intraframe-Verfahren bereits bei Kompressionsfaktoren zwischen 2.0 und 3.0 beträchtliche Qualitätseinbußen durch bleibende Fehler im rekonstruierten Bild hinnehmen müssen, erlaubt das Interframe-Verfahren die Realisierung beliebig großer Kompressionsfaktoren, wobei Fehler nur während und kurze Zeit nach der Bewegung einer Vorlage auftreten. Bei einem Kompressionsfaktor $K=30$ ist ein Bild beispielsweise durchschnittlich 1.5 s nach Beendigung seiner Bewegung bis auf 1 % Rest rekonstruiert. Dieser Kompressionsfaktor reicht aus, um ein Bildtelefonsignal über einen PCM-Fernsprechkanal zu übertragen.

Erkauft wird die Effektivität dieses Verfahrens durch erhöhten Schaltungsaufwand. Es erfordert nämlich den Einsatz eines Vollbildspeichers pro aktiver Teilnehmereinrichtung (mit 64 kbit Speicherkapazität für ein 1 MHz-Bildtelefonsystem, bzw. 320 kbit für ein 5 MHz-Fernsehsystem) mit den entsprechenden Ansteuerschaltungen sowie eines zentralen Konzentrators, den N Teilnehmer gemeinsam benutzen können.

Das Interframe-MPZ-Verfahren eignet sich für die Übertragung aller Arten von Zweittonvorlagen, besonders vorteilhaft erweist es sich bei der Übertragung von Festbildfolgen und beim Abruf gespeicherter Vorlagen über größere Entfernungen.

Literaturverzeichnis

- 1 Bundesministerium für das Post- und Fernmeldewesen:
Telekommunikationsbericht der Kommission für den Aus-
bau des technischen Kommunikationssystems, Anlage-
band 6: Breitbandkommunikation. Bonn, 1976
- 2 Frank, H.: Kybernetische Grundlagen der Pädagogik.
Baden-Baden, Agis-Verlag 1962
- 3 Küpfmüller, K.: Informationsverarbeitung durch den
Menschen. Nachrichtentechn. Z. 12 (1959), 2, 68-74
- 4 Shouten, J.F.: Nachricht und Signal. Nachrichtentechn.
Fachber. 6, Berlin: VDE-Verlag 1957, S. II, 1-2
- 5 Shannon, C.E.: Weaver, W.: Mathematische Grundlagen
der Informationstheorie. München, Wien: Oldenbourg 1976
- 6 Kersten, R.: Codierung von Bildsignalen. In: Techni-
sche Probleme zukünftiger Breitband-Nachrichtennetze
(Tagungsbericht der Professorenkonferenz 1973 im FTZ),
S. 206 - 216
- 7 Jaeschke, F.; Ost, J.: Nachrichtenreduktion beim Fern-
sehen. Der Fernmelde-Ingenieur 25 (1971), 4, 1-20
- 8 Dillenburger, W.: Einführung in die Fernsehtechnik,
Teil 1. Berlin: Schiele und Schön 1964
- 9 Märgner, V.; Zamperoni, P.: Darstellung von Zwei-
pegelbildern durch reduzierten Mustervorrat. Nachrich-
ten-Elektronik 30 (1976), 5, 109 - 111

- 10 Huffman, D.A.: A Method for the Construction of Minimum Redundancy Codes. Proc. I.R.E., Bd. 40 (Sept. 1952), S. 1098
- 11 Schreiber, W.F.; Huang, T.S.; Tretiak, O.J.: Contour Coding of Images. In: Picture Bandwidth Compression. New York: Gordon and Breach 1972, S. 443-448
- 12 Stern, P.A.: Simple Irrelevancy-Reducing Algorithms for the Transmission of Coarse Facsimile Data. Nachrichtentechn. Z. 26 (1973), 9, 417 - 420
- 13 Huang, T.S.: Run-Length Coding and its Extensions. In: Picture Bandwidth Compression. New York: Gordon and Breach 1972, S. 231-264
- 14 Preuß, D.: Redundanzreduzierende Codierung von Faksimilesignalen. Nachrichtentechn. Z. 24 (1971), 11, 564-568
- 15 Arps, R.B.: The Statistical Dependence of Run-Lengths in Printed Matter. In: Nachrichtentechn. Fachber. 40. Berlin: VDE-Verlag 1971, S. 218-226
- 16 Seitzer, D.; Closs, F.; Stucki, P.: An Experimental Approach to Video Bandwidth Compression by Multiplexing. IEEE Trans. on Comm. Techn. 17 (1969), 5, 564-568
- 17 Stucki, P.: Adressencodierte synchrone Multiplexverfahren zur wirksamen Übertragung digitaler Bildsignale. ETH Zürich, Diss.Nr. 4516, 1970
- 18 Stucki, P.: Efficient Transmission of Graphics Using Polyomino Filtering at the Receiver. IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems 6 (1970), 6, 811-814

- 19 Arps, R.B.: Mündliche Mitteilung
- 20 Hartmann, H.L.: Vergleich der Taktbetriebsarten integrierter PCM-Netze. In: Nachrichtentechn. Fachber. 42, Berlin: VDE-Verlag 1972, S. 297-310
- 21 Closs, F.H.: Multiplexeinrichtung. Patentschrift Nr. 488 345, Schweiz 1970

L e b e n s l a u f

24. 1. 1945 Geboren in Neuendettelsau/Mfr. als Sohn
des Kaufmanns Gustav Heß und dessen Ehe-
frau Marie, geb. Knoch
- 1951 - 1955 Besuch der Grundschule in Nürnberg
- 1955 - 1964 Besuch des Realgymnasiums Nürnberg
- 1964 Reifeprüfung
- 1964 - 1970 Studium der Elektrotechnik, Fachrichtung
Nachrichtentechnik, an der Technischen
Hochschule München
- 1970 Diplom-Hauptprüfung
- 1970 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut
für Elektroakustik der Technischen Hochschule
München
- Seit 1970 Wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für
Technische Elektronik der Universität Erlangen-
Nürnberg

Erlangen, Februar 1977

Hartmut Heß

Copy-Center 2000

852 ERLANGEN · Obere Karlstr. 30
Tel. 09131-26197